

Nosso universo é pontilhado com mais de 100 bilhões de galáxias e cada uma contém aproximadamente 100 bilhões de estrelas. Não está claro quantos planetas orbitam essas estrelas, mas é certo que, em pelo menos um deles, a vida evoluiu. E, em especial, existe uma forma de vida que tem a capacidade e a audácia de especular sobre a origem deste vasto universo.



Os seres humanos vêm observando o espaço há milhares de gerações, mas nós temos o privilégio de fazer parte da primeira geração que alega ter uma descrição coerente, racional e respeitável para a criação e a evolução do universo. O modelo do Big Bang (Grande Explosão) oferece uma explicação elegante para a origem de tudo o que vemos no céu noturno, o que o transforma numa das maiores realizações do espírito e do intelecto humanos. Trata-se do resultado de uma curiosidade insaciável, de uma imaginação fabulosa, da observação aguçada e de uma lógica implacável.

E, o que é ainda mais maravilhoso, o modelo do Big Bang pode ser entendido por todos. Quando tomei conhecimento do Big Bang, ainda adolescente, fiquei admirado com sua beleza e simplicidade, e pelo fato de ser baseado em princípios que, em sua maior parte, não iam além da física que eu já aprendia no colégio. Exatamente como a teoria da seleção natural de Charles Darwin é ao mesmo tempo fundamental e compreensível para a maioria das pessoas inteligentes, o modelo do Big Bang pode ser explicado em termos que farão sentido para não-especialistas sem que precisem mergulhar nos conceitos-chave dos meandros da teoria.

Mas, antes de abordarmos os primeiros indícios do modelo do Big Bang, é necessário estabelecer alguns fundamentos. O modelo do Big Bang para o universo foi desenvolvido nos últimos cem anos, e isso só foi possível por-

que as descobertas do século XX se ergueram sobre os alicerces de uma astronomia desenvolvida nos séculos anteriores. Por sua vez, essas teorias e observações do céu foram realizadas em uma estrutura científica montada continuamente durante dois milênios. Recuando ainda mais, o método científico, como um caminho em direção a uma verdade objetiva a respeito do mundo natural, só pôde surgir quando o papel dos mitos e do folclore começou a declinar. Em resumo, as raízes do modelo do Big Bang e a busca de uma teoria científica para o universo têm suas origens no declínio da visão mitológica ancestral do mundo.

De criadores gigantes aos filósofos gregos

De acordo com um mito chinês da criação datado de 600 a.C., Phan Ku, o Criador Gigante, saiu de um ovo e começou a criar o mundo usando um cinzel para esculpir os vales e montanhas da paisagem. Em seguida ele colocou o Sol, a Lua e as estrelas no céu e morreu assim que essas tarefas tinham terminado. A morte do Criador Gigante era uma parte essencial do processo de criação, porque os fragmentos de seu próprio corpo ajudaram a completar o mundo. O crânio de Phan Ku formou a abóbada celeste, sua carne deu origem ao solo, seus ossos se transformaram nas rochas e seu sangue criou os rios e mares. Seu último suspiro produziu o vento e as nuvens, enquanto seu suor transformava-se na chuva. Seu cabelo caiu na Terra, criando a vida vegetal, e os piolhos escondidos em seus cabelos forneceram a base para a raça humana. E, como o nosso nascimento exigiu a morte de nosso criador, fomos amaldiçoados com a tristeza eterna.

Em contraste, no mito épico *Prose Edda*, da Islândia, a criação começou não com um ovo e sim com a Fenda Aberta. Esse vazio separou os reinos contrastantes de Muspell e Niflheim, até que um dia o calor brilhante e intenso de Muspell derreteu a neve congelante e o gelo de Niflheim, e a umidade caiu na Fenda Aberta, produzindo a vida na forma do gigante Imir. Só então a criação do mundo pôde começar.

O povo krachi, de Togo, no oeste da África, fala de outro gigante, o imenso deus azul Wulbari, mais conhecido entre nós como o céu. Houve um

tempo em que ele se deitava logo a grãos com um longo pau o cutuca acima deste incômodo. Contudo, V nos, que usavam sua barriga como seu corpo azul para temperarem a vez mais alto, até que o céu azul desde então.

Para os iorubá, também da África Quando ele olhou para baixo, par divino que levasse uma concha de c continha um pombo, uma galinha solo foi salpicado sobre os pântan começaram a ciscar até que o pânta mundo, Olorum enviou o Camaleão enquanto ia do céu até a terra, sina completado com sucesso a sua tare

No mundo inteiro, cada cultura origem do universo e como ele foi bastante, cada um refletindo o amb Islândia, são as forças vulcânicas e para o nascimento do Imir. Mas, de no, são a galinha e o pombo famili obstande, todos esses mitos da cria Seja Wulbari, grande, azul e machuc esses mitos inevitavelmente invocar desempenhar um papel crucial na mesma forma, cada mito representa dade. A palavra “mito” vem do greg mas também significa “palavra” no s quer um que se atrevesse a question sações de heresia.

Nada mudou muito até o século de tolerância nos meios intelectuais livres para abandonar as explicações

tempo em que ele se deitava logo acima da Terra, mas uma mulher socando grãos com um longo pau o cutucava e esperava de modo que ele se erguesse acima deste incômodo. Contudo, Wulbari permanecia ao alcance dos humanos, que usavam sua barriga como uma toalha e arrancavam fragmentos de seu corpo azul para temperarem a sopa. Gradualmente, Wulbari subiu cada vez mais alto, até que o céu azul ficou fora do alcance, e lá permaneceu desde então.

Para os iorubá, também da África ocidental, Olorum era o Dono do Céu. Quando ele olhou para baixo, para o pântano sem vida, pediu a outro ser divino que levasse uma concha de caramujo até a Terra primordial. A concha continha um pombo, uma galinha e uma pequena quantidade de solo. O solo foi salpicado sobre os pântanos da Terra e então o pombo e a galinha começaram a ciscar até que o pântano virou um terreno sólido. Para testar o mundo, Olorum enviou o Camaleão, que mudou da cor azul para o marrom enquanto ia do céu até a terra, sinalizando que a galinha e o pombo tinham completado com sucesso a sua tarefa.

No mundo inteiro, cada cultura desenvolveu seus próprios mitos sobre a origem do universo e como ele foi formado. Esses mitos da criação diferem bastante, cada um refletindo o ambiente e a sociedade onde se originou. Na Islândia, são as forças vulcânicas e meteorológicas que formam o cenário para o nascimento do Imit. Mas, de acordo com os iorubá, do oeste africano, são a galinha e o pombo familiares que dão origem à terra sólida. Não obstante, todos esses mitos da criação têm algumas características comuns. Seja Wulbari, grande, azul e machucado, ou o gigante moribundo da China, esses mitos inevitavelmente invocam pelo menos um ser sobrenatural para desempenhar um papel crucial na explicação da criação do universo. Da mesma forma, cada mito representa a verdade absoluta dentro de sua sociedade. A palavra "mito" vem do grego *mythos*, que pode significar "estória", mas também significa "palavra" no sentido de "palavra final". De fato, qualquer um que se atrevesse a questionar essas explicações estaria sujeito a acusações de heresia.

Nada mudou muito até o século VI a.C., quando houve um súbito surto de tolerância nos meios intelectuais. Pela primeira vez os filósofos ficaram livres para abandonar as explicações mitológicas aceitas para o universo e

guerram sobre os alicerces de uma anteriores. Por sua vez, essas teorias e uma estrutura científica montada quando ainda mais, o método científico, uma verdade objetiva a respeito do papel dos mitos e do folclore cotidiano modelo do Big Bang e a busca de suas origens no declínio da visão

nos filósofos gregos

ção datado de 600 a.C., Phan Ku, o negou a criar o mundo usando um s da paisagem. Em seguida ele colocou assim que essas tarefas tinham era uma parte essencial do processo próprio corpo ajudaram a completar a abóbada celeste, sua carne deu ram nas rochas e seu sangue criou os u o vento e as nuvens, enquanto seu belo caiu na Terra, criando a vida is cabelos forneceram a base para a ato exigiu a morte de nosso criador,

na. *Idda*, da Islândia, a criação começou aberta. Esse vazão separou os reinos até que um dia o calor brilhante e congelante e o gelo de Niflheim, e a ndo a vida na forma do gigante Imit. negar. da África, fala de outro gigante, o do entre nós como o céu. Houve um

desenvolverem suas próprias teorias. Anaximandro, de Mileto, por exemplo, argumentava que o Sol era um buraco num anel cheio de fogo que circundava a Terra e girava em torno dela. De modo semelhante, ele acreditava que a Lua e as estrelas nada mais eram do que buracos no firmamento, revelando fogos de outro modo escondidos. De modo contrário, Xenófanés de Colofon acreditava que a Terra liberava gases combustíveis que se acumulavam durante a noite até atingirem uma massa crítica, quando então se incendiavam produzindo o Sol. A noite caía novamente quando a bola de gás queimara todo o seu combustível, deixando para trás apenas as poucas centelhas que chamamos de estrelas. Ele explicava a Lua de modo semelhante, com gases se acumulando e queimando num ciclo de 28 dias.

O fato de Xenófanés e Anaximandro não estarem perto da verdade não tem importância, porque o principal é que eles desenvolviam teorias que explicavam o mundo natural sem recorrer a deuses ou artefatos sobrenaturais. Teorias dizendo que o Sol é um fogo celeste visto através de um buraco no firmamento ou uma bola de gás se queimando eram qualitativamente diferentes do mito grego que explicava o Sol invocando uma carruagem dirigida através do céu pelo deus Hélios. Isso não quer dizer que a nova geração de filósofos quisesse necessariamente negar a existência dos deuses. Eles apenas se recusavam a acreditar que a interferência divina fosse responsável pelos fenômenos naturais.

Esses filósofos foram os primeiros *cosmólogos*, na medida em que estavam interessados no estudo científico do universo físico e de suas origens. A palavra “cosmologia” deriva da antiga palavra grega *kosmeo*, que significa “ordenar” ou “organizar”, refletindo a crença de que o universo pode ser entendido e merece um estudo analítico. O cosmos apresentava padrões, e era ambição dos gregos reconhecer esses padrões, esmiuçá-los e compreender o que havia por trás deles.

Seria um grande exagero chamar Xenófanés e Anaximandro de cientistas no sentido moderno do termo, e seria lisonjeiro considerar suas idéias como teorias científicas plenamente desenvolvidas. Não obstante, eles certamente contribuíram para o nascimento do pensamento científico, e seu *ethos* tinha muito em comum com a ciência moderna. Tal como as idéias na ciência moderna, por exemplo, as idéias dos cosmólogos gregos podiam ser

criticadas e comparadas, melhora uma boa discussão e assim a coisa questionava o raciocínio subjacente. Em contraste, os indivíduos questionar a própria mitologia de sua própria sociedade.

Pitágoras de Samos ajudou o racionalismo por volta do ano 500 a.C. desenvolveu uma paixão pela matemática e as equações podiam ser usadas para explicar o mundo. Uma de suas primeiras conquistas foi a harmonia dos números. O instrumento antigo era o tetracórdio ou lira, e sua teoria fazendo experiências com a tensão constante, mas seu comprimento da corda produzia uma nota que era uma oitava mais alta do que a corda original. De fato, mudar a fração simples ou proporção, cria uma nova nota. (Por exemplo, uma proporção de 1:2 cria uma oitava mais alta. Mas, se o comprimento fosse multiplicado por 3/2, o resultado seria a quinta.)

Já que Pitágoras tinha mostrado que os números podiam ajudar a explicar e descrever a natureza, ele usaram os números para explorar o mundo. A descoberta da bala de canhão aos padrões caóticos foi feita por Henri Poincaré. O raios X em 1895, era um grande avanço na matemática e certa vez declarou que o mundo físico precisa de três coisas: matemática, física e química.

O mantra de Pitágoras era “tudo é número”. Ele tentou descobrir as regras da natureza. Ele afirmava que os movimentos do mundo geravam notas musicais específicas.

críticas e comparadas, melhoradas ou abandonadas. Os gregos adoravam uma boa discussão e assim a comunidade dos filósofos examinava as teorias, questionava o raciocínio subjacente e finalmente escolhia a mais convincente. Em contraste, os indivíduos de muitas outras culturas não se atreviam a questionar a própria mitologia. Cada mitologia era um ato de fé dentro de sua própria sociedade.

sua própria sociedade.

Pitágoras de Samos ajudou a consolidar os fundamentos desse novo racionalismo por volta do ano 540 a.C. Como parte de sua filosofia ele desenvolveu uma paixão pela matemática e demonstrou como os números e as equações podiam ser usados para ajudar a formular teorias científicas. Uma de suas primeiras conquistas foi explicar a harmonia da música através da harmonia dos números. O instrumento mais importante na música helenica antiga era o tetracórdio ou lira de quatro cordas, mas Pitágoras desenvolveu sua teoria fazendo experiências com um monocórdio. A corda era mantida sob tensão constante, mas seu comprimento podia ser alterado. Um certo comprimento da corda produzia uma determinada nota, e Pitágoras percebeu que dividindo pela metade o comprimento da mesma corda, ela produzia uma nota que era uma oitava mais alta e em harmonia com a nota da corda original. De fato, mudando o comprimento da corda por qualquer fração simples ou proporção, criava-se uma nota harmoniosa com a primeira. (Por exemplo, uma proporção de 3:2, agora chamada de quinta musical). Mas, se o comprimento fosse mudado numa proporção aleatória (por exemplo 15:37), o resultado seria a desarmonia.

plo 15:37), o resultado seria a desarmonia.

Já que Pitágoras tinha mostrado que a matemática podia ser usada para ajudar a explicar e descrever a música, gerações subsequentes de cientistas usaram os números para explorar todo tipo de coisas, da trajetória de uma bala de canhão aos padrões caóticos do clima. Wilhelm Röntgen, que descobriu os raios X em 1895, era um fiel adepto da filosofia pitagórica da ciência matemática e certa vez declarou: “Ao se preparar para o seu trabalho, o físico precisa de três coisas: matemática, matemática, matemática”.

“Físico precisa de três coisas: matemática, matemática e matemática”.

O mantra de Pitágoras era “tudo é número”. Alimentado por essa crença, ele tentou descobrir as regras matemáticas que regeriam os corpos celestes. Ele afirmava que os movimentos do Sol, da Lua e dos planetas através do céu geravam notas musicais especiais, que seriam determinadas pelo compri-

maximando, de Milero, por exemplo, num anel cheio de fogo que la. De modo semelhante, ele acreditavam do que buracos no firmamento, dos. De modo contrário, Xenófanes via gases combustíveis que se acumulava massa crítica, quando então se deixava para trás apenas as poucas explicava a Lua de modo semelhante a um ciclo de 28 dias.

...a interferência divina fosse respon-
sabilidade dos *cosmólogos*, na medida em que esta-
va o universo físico e de suas origens. A
palavra grega *kosmos*, que significa
crença de que o universo pode ser
ordenado. O cosmos apresentava padrões, e
padrões, esmiuçá-los e compreendê-los.

enófanes e Anaximandro de cientis-
ria lisonjeiro considerar suas idéias
envolvidas. Não obstante, eles certa-
do pensamento científico, e seu *ethos*
moderna. Tal como as idéias na ciên-
dos cosmólogos gregos podiam ser

mento de suas órbitas. E a partir daí Pitágoras concluiu que essas órbitas e notas teriam proporções numéricas específicas para que o universo permanecesse em harmonia. Isso se tornou uma teoria popular em sua época. Podemos reexaminá-la a partir de uma perspectiva moderna e ver como ela enfrenta os rigores do método científico atual. Do lado positivo, a afirmação de Pitágoras de que o universo estava repleto de música não depende de nenhuma força sobrenatural. Sua teoria também é bem simples e muito concisa, duas qualidades muito valorizadas na ciência. De modo geral, uma teoria apoiada em uma única equação, curta e bonita, é preferível a outra teoria que depende de várias equações feias e imprecisas, cheias de parênteses complicados e espúrios. Como disse o físico Berndt Matthias: “Se você vir uma fórmula na revista *Physical Review* que ocupe um quarto de página, pode esquecê-la. Está errada. A Natureza não é tão complicada”. Entretanto, a simplicidade e a concisão são secundárias diante da característica mais importante de qualquer teoria científica: ela deve corresponder à realidade e estar aberta à verificação. E é aí que a teoria da música celeste fracassa completamente. De acordo com Pitágoras, somos constantemente envolvidos por essa música celestial, mas não podemos percebê-la porque a ouvimos desde que nascemos e ficamos acostumados com ela. Para concluir, qualquer teoria que prevê uma música que nunca pode ser ouvida ou qualquer coisa que jamais poderá ser detectada é uma teoria científica muito pobre.

Toda teoria científica verdadeira precisa fazer uma previsão sobre o universo que possa ser observada ou medida. Se os resultados de uma experiência ou observação corresponderem à previsão teórica, teremos um bom motivo para que a teoria se torne aceita e seja incorporada à estrutura maior da ciência. Por outro lado, se a previsão teórica for imprecisa e entrar em conflito com a experiência ou a observação, então a teoria deve ser rejeitada, ou pelo menos modificada, a despeito de suas qualidades no que se refere à beleza ou à simplicidade. Esse é o desafio supremo, um desafio brutal, mas toda teoria científica deve poder ser testada e ser compatível com a realidade. No século XIX, o naturalista Thomas Huxley disse que “a grande tragédia da ciência é a morte de uma bela hipótese diante de uma feia realidade”.

Felizmente os seguidores de Pitágoras ampliaram suas idéias e aperfeiçoaram sua metodologia. Aos poucos, a ciência foi se tornando uma discipli-

na sofisticada e poderosa, capaz de medir os verdadeiros diâmetros que os separam. Essas medições representando os primeiros passos de todo o universo. Por isso tais

Antes que qualquer distância fosse conhecida, os antigos gregos já tinham uma noção ganhada pela aceitação e familiarização com a noção de horizonte até que apenas a porção visível do mar se apresentasse. Se o mar tinha uma superfície curva, também a teria, o que significava uma reforçada pela observação dos eclipses da sombra em forma de disco sobre um objeto esférico. De significava também ver que a própria Lua era esférica, o que acrescentava mais credibilidade. Tudo começava a fazer sentido, o que o filósofo grego Heródoto, que falava durante metade de um ano. Se a Terra era esférica, o globo seriam iluminadas de forma diferente, o que naturalmente dava origem a variações de seis meses.

Mas uma Terra esférica dava origem a problemas para as crianças hoje em dia. O que aconteceria se elas se desprendam e caíam? A solução era a crença de que o universo tinha um centro. O centro da Terra suposto hipotético, assim a Terra era esférica e girava em direção ao centro. Portanto, a força, assim como tudo o mais, era centrado.

A façanha de medir o tamanho da Terra foi feita por Eratóstenes, que nasceu em 276 a.C.

na sofisticada e poderosa, capaz de realizações impressionantes, como a medida dos verdadeiros diâmetros do Sol, da Lua e da Terra e das distâncias que os separaram. Essas medições foram marcos na história da astronomia, representando os primeiros passos vacilantes na estrada para a compreensão de todo o universo. Por isso tais medidas merecem ser descritas em detalhes. Antes que qualquer distância celeste ou tamanho pudessem ser calculados, os antigos gregos já tinham determinado que a Terra é uma esfera. Tal noção ganhou ampla aceitação na antiga Grécia à medida que os filósofos se familiarizavam com a noção de que os navios desaparecem gradualmente no horizonte até que apenas a ponta do mastro pode ser vista. E isso só fazia sentido se a superfície do mar se curvasse, mergulhando atrás do horizonte. Se o mar tinha uma superfície curva, então, presumivelmente, a Terra também a teria, o que significava que talvez fosse uma esfera. Essa visão era reforçada pela observação dos eclipses da Lua, quando a Terra projetava uma sombra em forma de disco sobre a Lua, na forma exata que se esperaria de um objeto esférico. De significado semelhante era o fato de que todos podiam ver que a própria Lua era redonda, sugerindo que a esfera era a forma natural, o que acrescentava mais munição à hipótese de uma Terra redonda. Tudo começava a fazer sentido, incluindo os escritos do viajante e historiador grego Heródoto, que falava de pessoas no extremo norte que dormiam durante metade de um ano. Se a Terra fosse esférica, então partes diferentes do globo seriam iluminadas de modo diferente, de acordo com suas latitudes, o que naturalmente dava origem ao inverno polar e às noites que duravam seis meses.

Mas uma Terra esférica dava origem a uma pergunta que ainda incomoda as crianças hoje em dia. O que impede que as pessoas no hemisfério Sul “se desprendam” e caiam? A solução grega para esse enigma baseava-se na crença de que o universo tinha um centro e tudo seria atraído para este centro. O centro da Terra supostamente coincidiria com o centro universal hipotético, assim a Terra era estática e tudo sobre sua superfície seria puxado em direção ao centro. Portanto, os gregos ficariam presos ao chão por essa força, assim como tudo o mais no mundo, mesmo se vivesse lá embaixo. A façanha de medir o tamanho da Terra foi realizada em primeiro lugar por Eratóstenes, que nasceu em 276 a.C., em Cirene, na atual Líbia. Mesmo

tagoras concluiu que essas órbitas e efêmeras para que o universo permaneceria popular em sua época. Por uma perspectiva moderna e ver como ela é atual. Do lado positivo, a afirmação repleta de música não depende de também é bem simples e muito concreta ciência. De modo geral, uma teoria é bonita, é preferível a outra teoria imprecisas, cheias de parênteses como Berndt Matthias: “Se você vir uma página, pode ocupar um quarto de página, pode ser tão complicada”. Entretanto, a visão é tão complicada”. Entre outras coisas, ela deve corresponder à realidade e a música celeste fracassa completamente envolvida por que a ouvimos com ela. Para concluir, qualquer coisa pode ser ouvida ou qualquer coisa científica muito pobre.

precisa fazer uma previsão sobre o universo. Se os resultados de uma experiência teórica, teremos um bom motivo a incorporar a estrutura maior da física for imprecisa e entrar em conflito, então a teoria deve ser rejeitada, ou suas qualidades no que se refere à física supremo, um desafio brutal, mas toda e ser compatível com a realidade. Huxley disse que “a grande verdade diante de uma feia realidade”, mas ampliam suas idéias e aperfeiçoaram a ciência foi se tornando uma disciplina

quando ainda era um menino parecia evidente que Eratóstenes tinha uma mente brilhante, que podia se voltar para qualquer disciplina, da poesia à geografia. Ele até mesmo recebeu o apelido de Pentatlos, o que significa um atleta que participa das cinco competições do pentatlo, numa sugestão da amplitude de seus talentos. Eratóstenes passou muito tempo como bibliotecário-chefe em Alexandria, o posto acadêmico de maior prestígio no mundo antigo. A cosmopolita Alexandria tinha tomado o lugar de Atenas como centro intelectual do Mediterrâneo, e a biblioteca da cidade era a instituição de ensino mais respeitada no mundo. Esqueça qualquer imagem de bibliotecários burocráticos, carimbando livros e sussurrando uns com os outros, porque aquele era um lugar vibrante e excitante, cheio de estudiosos inspiradores e estudantes empolgados.

Na biblioteca, Eratóstenes ficou sabendo da existência de um poço com notáveis propriedades, situado perto da cidade de Siena, no sul do Egito, perto da atual Assuã. A cada ano, ao meio-dia de 21 de junho, o dia do solstício de verão, o Sol brilhava diretamente dentro do poço e iluminava tudo até o fundo. Eratóstenes percebeu que, naquele dia em especial, o Sol deveria estar diretamente acima, algo que nunca acontecia em Alexandria, que ficava a várias centenas de quilômetros ao norte de Siena. Hoje sabemos que Siena fica perto do Trópico de Câncer, a latitude mais ao norte em que o Sol pode aparecer bem no zênite.

Ciente de que a curvatura da Terra era o motivo de o Sol não brilhar do mesmo modo acima de Siena e Alexandria ao mesmo tempo, Eratóstenes imaginou se não poderia usar isso para medir a circunferência da Terra. Ele não pensou no problema do mesmo modo como pensaríamos, já que sua interpretação da geometria e sua notação eram diferentes, mas aqui está uma explicação moderna de sua abordagem. A figura 1 mostra como os raios paralelos da luz do Sol atingiam a Terra ao meio-dia de 21 de junho. No mesmo momento em que a luz do Sol mergulhava verticalmente no fundo do poço em Siena, Eratóstenes fincou uma vareta verticalmente no solo de Alexandria e mediu o ângulo entre a vareta e os raios do Sol. E o que é crucial para o problema é que este ângulo equivale ao ângulo entre duas linhas radiais traçadas de Alexandria e Siena até o centro da Terra. Ele mediu o ângulo como sendo de $7,2^\circ$.

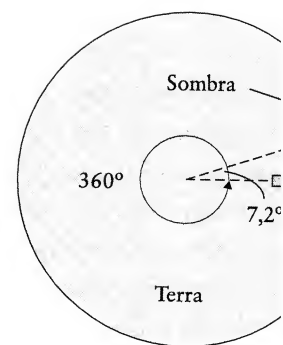


Figura 1 Eratóstenes usou a sombra para calcular a circunferência da Terra. Como a Terra se encontra em sua inclinação, o Trópico de Câncer fica mais perto do Sol. Isto faz com que as cidades ao meio-dia. Por motivo de escala, não foram desenhadas em escala. E gerados.

Agora imagine alguém em Siena, e depois continue até Alexandria, e depois continue até Siena. Ao dar uma volta completa cobrindo 360° , a distância é de apenas $7,2^\circ$, então a distância total deve ser de 250.000 estádios. Se isso representa $1/50$ da circunferência total, a circunferência total deve ser de 250.000 estádios.

Mas você deve estar se perguntando: o que era o estádio? O estádio era a distância-padrão entre o diosfeno e o diosfeno olímpico media 185 metros. Se a Terra ficaria em 46.250 quilômetros, o valor verdadeiro de 40.100 quilômetros é mais preciso. O estádio egípcio era de 157 metros, o que nos dá uma precisão de 2%.

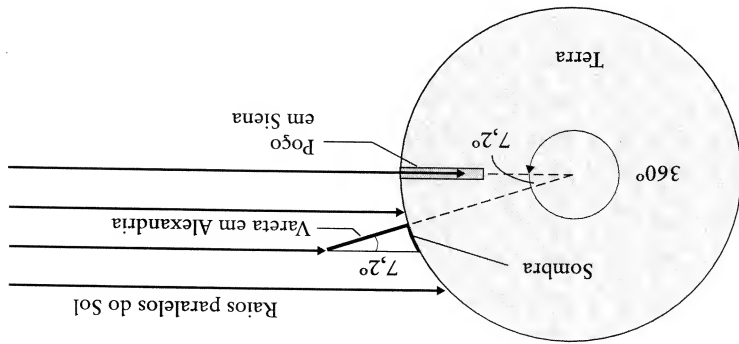


Figura 1 Eratóstenes usou a sombra projetada por uma vareta, em Alexandria, para calcular a circunferência da Terra. Realizou a experiência no solstício do verão, quando a Terra se encontra em sua inclinação máxima e as cidades ao longo do Trópico de Câncer ficam mais perto do Sol. Isto significa que o Sol fica diretamente acima dessas cidades ao meio-dia. Por motivo de clareza, as distâncias neste e nos outros diagramas não foram desenhadas em escala. De modo semelhante, os ângulos podem estar exagerados.

Agora imagine alguém em Siena que decida caminhar numa linha reta até Alexandria, e depois continua andando até dar a volta ao mundo e retornar a Siena. Ao dar uma volta completa em torno da Terra, ela descreveria um círculo completo cobrindo 360° . Assim, se o ângulo entre Siena e Alexandria é de apenas $7,2^\circ$, então a distância entre Siena e Alexandria representa $7,2/360$ ou $1/50$ da circunferência da Terra. O resto do cálculo é simples. Eratóstenes mediu a distância entre as duas cidades, que se revelou de 5.000 estádios. Se isso representa $1/50$ da circunferência da Terra então a circunferência total deve ser de 250.000 estádios.

Mas você deve estar se perguntando quanto é 250.000 estádios. Um estádio era a distância-padrão em que eram disputadas as corridas. O estádio olímpico media 185 metros, então a estimativa da circunferência da Terra ficaria em 46.250 quilômetros, que é apenas 15% maior do que o valor verdadeiro de 40.100 quilômetros. E Eratóstenes pode até ter sido mais preciso. O estádio egípcio era diferente do estádio olímpico e equivalia a 157 metros, o que nos dá uma circunferência de 39.250 quilômetros e uma precisão de 2%.

evidente que Eratóstenes tinha uma
ara qualquer disciplina, da poesia à
lido de Pentatlos, o que significa um
passou muito tempo como bibliote-
lêmico de maior prestígio no mundo
a tomado o lugar de Atenas como
biblioteca da cidade era a instituição
e sussurrando uns com os outros,
e excitante, cheio de estudiosos

endo da existência de um poço com
a cidade de Siena, no sul do Egito,
meio-dia de 21 de junho, o dia do
mente dentro do poço e iluminava
que, naquele dia em especial, o Sol
que nunca acontecia em Alexandria,
ros ao norte de Siena. Hoje sabemos
cer, a latitude mais ao norte em que

era o motivo de o Sol não brilhar do
idria ao mesmo tempo, Eratóstenes
medir a circunferência da Terra. Ele
modo como pensaríamos, já que sua
ção eram diferentes, mas aqui está
lagem. A figura 1 mostra como os
Terra ao meio-dia de 21 de junho.
ol mergulhava verticalmente no fun-
u uma vareta verticalmente no solo
a vareta e os raios do Sol. E o que é
ângulo equivale ao ângulo entre duas
iena até o centro da Terra. Ele mediu

Se a precisão foi de 2% ou de 15%, é irrelevante. O importante é que Eratóstenes tinha desenvolvido um meio de medir cientificamente o tamanho da Terra. Qualquer imprecisão era mero resultado de uma medida imprecisa de ângulo, um erro na distância Siena-Alexandria, um ajustamento do meio-dia no solstício e o fato de que Alexandria não ficava exatamente ao norte de Siena. Antes de Eratóstenes, ninguém sabia se a circunferência era de 4.000 ou 4.000.000.000 de quilômetros, de modo que determiná-la como sendo de aproximadamente 40.000 quilômetros foi uma grande conquista. Ela provou que tudo o que era necessário para medir o planeta era um homem com uma vareta e um cérebro. Em outras palavras, junte um intelecto com alguns equipamentos experimentais e pode-se conseguir quase tudo.

Agora Eratóstenes podia deduzir o tamanho da Lua e do Sol, e calcular suas distâncias da Terra. Muito do trabalho básico tinha sido feito por filósofos anteriores, mas seus cálculos estavam incompletos à espera de que o tamanho da Terra fosse determinado. E agora Eratóstenes tinha o valor que faltava. Por exemplo, comparando-se o tamanho da sombra projetada pela Terra sobre a Lua, durante um eclipse lunar, como mostrado na figura 2, fora possível deduzir que o diâmetro da Lua era cerca de um quarto do da Terra. Já que Eratóstenes havia demonstrado que a circunferência da Terra media 40.000 quilômetros, então este diâmetro é aproximadamente $(40.000 \div \pi)$ km, em torno de 12.700 km. Portanto, o diâmetro da Lua é $(1/4 \times 12.700)$ km, que nos dá aproximadamente 3.200 km.

Foi fácil para Eratóstenes calcular então a distância até a Lua. Um método seria olhar para a Lua cheia, fechar um dos olhos e estender o braço. Se fizer isso, vai notar que pode tapar a Lua com a ponta de seu dedo indicador. A Figura 3 mostra que sua unha forma um triângulo com seu olho. A Lua forma um triângulo semelhante, imensamente maior mas com proporções idênticas. A proporção entre o comprimento de seu braço e a altura de sua unha, que é cerca de 100:1, deve ser a mesma que existe entre a distância da Lua e o seu diâmetro. Isso significa que a distância até a Lua deve ser aproximadamente cem vezes maior do que o seu diâmetro, o que nos dá uma distância de 320.000 km.

Em seguida, graças a uma hipótese de Anaxágoras de Clazômenas e um argumento inteligente de Aristarco de Samos, foi possível para Eratóstenes

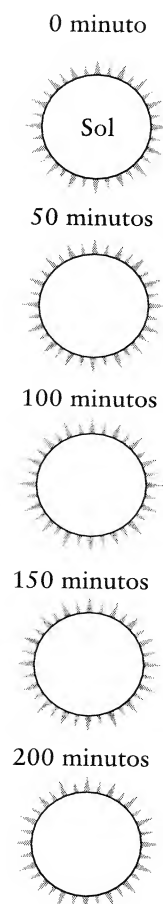
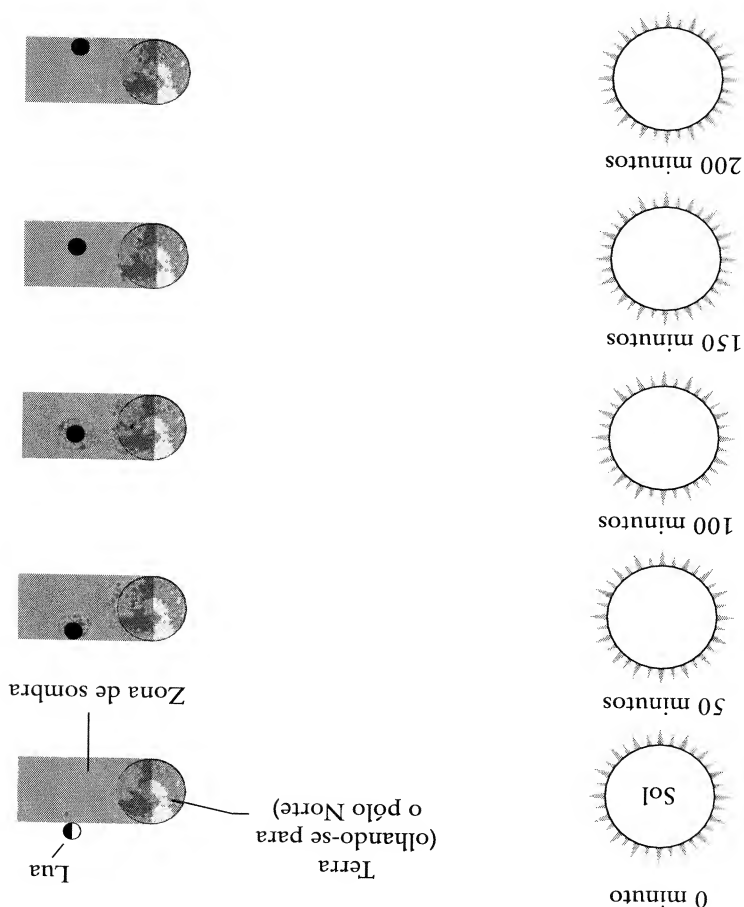


Figura 2 Os tamanhos relativos da Terra e da Lua durante a passagem da Lua através da sombra da Terra. A Lua e a Terra estão bem distantes do Sol se compararmos o tamanho da sombra da Terra equivalente ao da Lua.

O diagrama mostra a Lua passando pela sombra da Terra em uma particular — quando a Lua passa a sombra da Terra —, estima-se que transcorram 150 minutos para a Lua tocar a sombra até que fique com uma indicação do próprio diâmetro frontal da Lua cruze toda a sombra e uma indicação do diâmetro da Terra. O diâmetro da Terra é quatro vezes o diâmetro da Lua.

, é irrelevante. O importante é que o de medir cientificamente o tamanho resultado de uma medida imprecisa. A Sien-Alexandria, um ajustamento e Alexandria não ficava exatamente ninguém sabia se a circunferência era os, de modo que determinava-la como lómetros foi uma grande conquista. io para medir o planeta era um ho- r outras palavras, junte um intelecto s e pode-se conseguir quase tudo. tamanho da Lua e do Sol, e calcular alho básico tinha sido feito por filó- vam incompletos à espera de que o agora Eratóstenes tinha o valor que tamanho da sombra projetada pela lunar, como mostrado na figura 2, a Lua era cerca de um quarto do da trado que a circunferência da Terra âmetro é aproximadamente $(40.000 \times 1/4)$ tanto, o diâmetro da Lua é $(1/4 \times$ nte 3.200 km. itão a distância até a Lua. Um méto- um dos olhos e estender o braço. Se i com a ponta de seu dedo indicador. um triângulo com seu olho. A Lua amente maior mas com proporções nento de seu braço e a altura de sua mesma que existe entre a distância da a distância até a Lua deve ser apro- o seu diâmetro, o que nos dá uma de Anaxágoras de Clazômenas e um

Figura 2 Os tamanhos relativos da Terra e da Lua podem ser estimados observando-se a passagem da Lua através da sombra da Terra durante um eclipse lunar. A Terra e a Lua estão bem distantes do Sol se compararmos com a distância da Terra até a Lua. Assim, o tamanho da sombra da Terra equivale ao tamanho da própria Terra. O diagrama mostra a Lua passando através da sombra da Terra. Nesse eclipse particular — quando a Lua passa aproximadamente através do centro da sombra da Terra —, estima-se que transcorram cinquenta minutos entre o momento em que a Lua toca a sombra até que fique completamente coberta, assim cinquenta minutos é uma indicação do próprio diâmetro da Lua. E o tempo necessário para que a parte frontal da Lua cruze toda a sombra da Terra é de duzentos minutos, o que é uma indicação do diâmetro da Terra. O diâmetro da Terra é, portanto, aproximadamente quatro vezes o diâmetro da Lua.



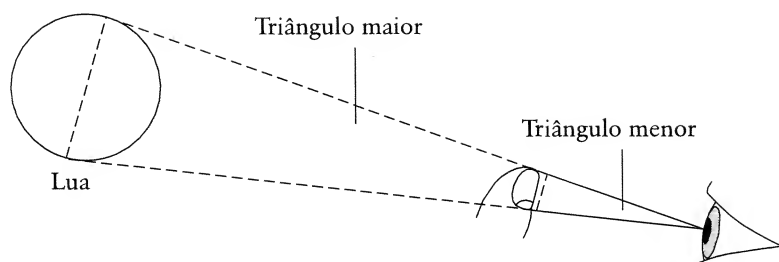


Figura 3 Tendo-se estimado o tamanho da Lua, é relativamente fácil determinar sua distância. Primeiro você vai notar que pode tapar a Lua com a ponta do dedo na extremidade de um braço esticado. Daí se torna claro que a proporção entre a altura da unha e o comprimento de um braço é, aproximadamente, a mesma que existe entre o diâmetro da Lua e sua distância da Terra. O comprimento do braço é aproximadamente cem vezes maior que a unha, assim, a distância até a Lua é aproximadamente cem vezes o seu diâmetro.

calcular o tamanho do Sol e a que distância ele se encontrava. Anaxágoras era um pensador radical do século V a.C., que considerava que o propósito da vida era a “investigação do Sol, da Lua e do céu”. Ele acreditava que o Sol era uma pedra incandescente e não uma divindade, e de modo semelhante acreditava que as estrelas também eram pedras quentes, mas muito distantes para aquecer a Terra. Em contraste, ele supunha que a Lua era uma pedra fria que não emitia luz, e Anaxágoras afirmava que o luar não passava de luz do Sol refletida. Apesar de um clima crescente de tolerância intelectual em Atenas, onde Anaxágoras vivia, ainda era controvertido afirmar que o Sol e a Lua eram pedras e não deuses. Tanto que seus rivais invejosos acusaram Anaxágoras de heresia e organizaram uma campanha que resultou no seu exílio para Lâmpsaco na Ásia Menor. Os atenienses tinham uma queda para adornar sua cidade com ídolos, e é por isso que, em 1638, o bispo John Wilkins comentou ser irônico que um homem que transformava deuses em pedras fosse perseguido por pessoas que transformavam pedras em deuses.

No século III a.C., Aristarco ampliou a idéia de Anaxágoras. Se o luar era luz do Sol refletida, afirmou, então a meia-lua deve acontecer quando o Sol, a Lua e a Terra formam um ângulo reto, como mostrado na figura 4. Aristarco mediu o ângulo entre as linhas ligando a Terra ao Sol e à Lua, e então usou a trigonometria para calcular a proporção entre as distâncias

Terra-Lua e Terra-Sol. Ele mediu que o Sol estava vinte vezes mais distante do que a Lua. Ele também descobriu que o Sol era maior do que a Terra. Ele também descobriu que a distância entre a Terra e o Sol era de 89,85° e o Sol está quatrocentos vezes mais distante do que a Lua. Aristarco tinha claramente se enganado. Mas novamente precisão não é o objetivo de um método válido que produz resultados de medição melhores do que os métodos de medição melhores da verdadeira resposta.

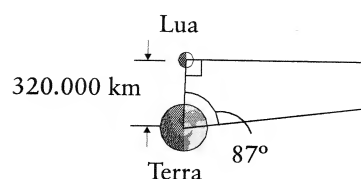


Figura 4 Aristarco afirmou que era possível medir a distância entre a Terra, a Lua e o Sol quando a Lua estava na metade de sua fase. Na meia-lua, medindo o ângulo entre as linhas ligando a Terra ao Sol e à Lua, e a distância conhecida entre a Terra e a Lua, é possível determinar a distância Terra-Sol.

Finalmente, deduzir o tamanho da Terra. Aristarco sabia que a Lua se encaixa exatamente na sombra da Terra durante um eclipse solar. Portanto, a proporção entre o diâmetro da Terra e o diâmetro do Sol deve ser a mesma existente entre a distância da Terra ao Sol e a distância da Terra à Lua, como é mostrado na figura 3. Assim, se a distância da Terra ao Sol é conhecida, a distância da Terra à Lua é fácil de calcular. E assim seu diâmetro é fácil de calcular. Como a distância da Terra ao Sol é conhecida, a distância da Terra à Lua, a não ser por uma medida da proporção entre a unha como objeto com tamanho conhecido e a distância da Terra ao Sol.

Terra-Lua e Terra-Sol. Ele mediu o ângulo como sendo de 87° , o que significa que o Sol estava vinte vezes mais distante do que a Lua. Nosso cálculo anterior já tinha fornecido a distância até a Lua. De fato, o ângulo correto é de $89,85^\circ$ e o Sol está quatrocentas vezes mais distante do que a Lua, assim Aristarco tinha claramente se esforçado para medir o ângulo com precisão. Mas novamente precisão não é o mais importante: os gregos tinham desenvolvido um método válido que representava um avanço importante. Instrumentos de medição melhores aproximariam os cientistas do futuro da verdadeira resposta.

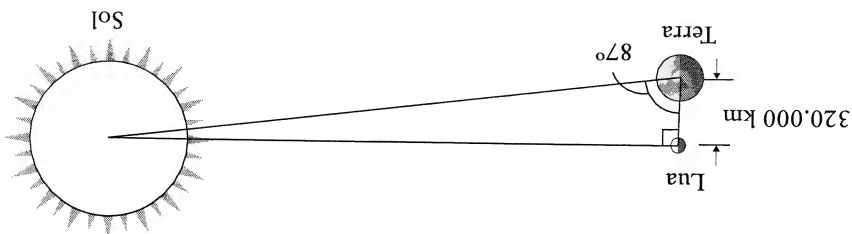
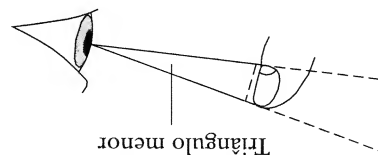


Figura 4 Aristarco afirmou que era possível estimar a distância até o Sol usando o fato de que a Terra, a Lua e o Sol formam um triângulo reto quando a Lua se encontra na metade de sua fase. Na meia-lua, mediu o ângulo mostrado no diagrama. A trigonometria simples e a distância conhecida entre a Terra e a Lua podem então ser usadas para determinar a distância Terra-Sol.

Finalmente, deduzir o tamanho do Sol é óbvio, porque é um fato bem conhecido que a Lua se encaixa perfeitamente sobre o Sol durante um eclipse solar. Portanto, a proporção entre o diâmetro do Sol e sua distância da Terra deve ser a mesma existente entre o diâmetro da Lua e sua distância da Terra, como é mostrado na figura 5. Nós já conhecemos o diâmetro da Lua e sua distância da Terra, e também sabemos a distância do Sol até a Terra, assim seu diâmetro é fácil de calcular. O método é idêntico ao ilustrado na figura 3, em que a distância até nossa unha e sua altura serviram para medir a distância até a Lua, a não ser pelo fato de que agora a Lua tomou o lugar da unha como objeto com tamanho e distância conhecidos.



Lua, é relativamente fácil determinar sua par a Lua com a ponta do dedo na extremidade do braço e aproximadamente com a mesma que existe entre o diâmetro da Lua e a proporção entre a altura da unha

ância ele se encontrava. Anaxágoras C., que considerava que o propósito "do céu". Ele acreditava que o Sol a divindade, e de modo semelhante pedras quentes, mas muito distantes; suponha que a Lua era uma pedra firmava que o luar não passava de luz rescente de tolerância intelectual em ra convertido afirmar que o Sol e o que seus rivais invejosos acusaram uma campanha que resultou no seu s atenienses tinham uma queda para pr isso que, em 1638, o bispo John tomem que transformava deuses em a transformação de pedras em deuses. ou a idéia de Anaxágoras. Se o luar a meia-lua deve acontecer quando o reto, como mostrado na figura 4. as ligando a Terra ao Sol e à Lua, e lar a proporção entre as distâncias

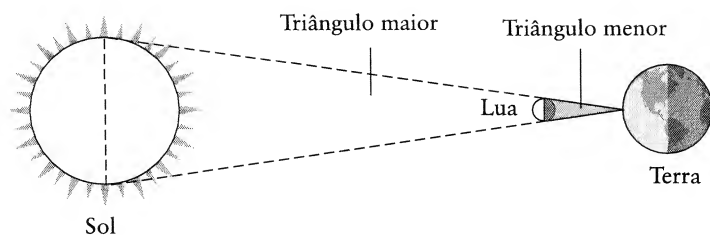


Figura 5 É possível estimar o tamanho do Sol, depois que conhecemos sua distância. Um método é usar um eclipse total do Sol e o nosso conhecimento do diâmetro da Lua e de sua distância. Um eclipse total do Sol é visível apenas de um pequeno trecho na superfície da Terra em cada ocasião, porque o Sol e a Lua parecem ter o mesmo tamanho quando vistos da Terra. O diagrama (que não está em escala) mostra como um observador do eclipse na Terra se encontra no vértice de dois triângulos semelhantes. O primeiro triângulo se estende até a Lua e o segundo triângulo, até o Sol. Sabendo-se as distâncias até a Lua e até o Sol e conhecendo-se o diâmetro da Lua, já é o bastante para deduzir o diâmetro do Sol.

Essas conquistas assombrosas de Eratóstenes, Aristarco e Anaxágoras ilustram os avanços no pensamento científico que aconteciam na antiga Grécia, porque suas medições do universo dependiam da lógica, da matemática, da observação e das medições. Mas será que os gregos merecem realmente todo o crédito pelo estabelecimento das bases da ciência? Afinal, os babilônios foram grandes praticantes da astronomia, fazendo milhares de observações detalhadas. Existe um consenso geral entre os filósofos e os historiadores da ciência de que os babilônios não eram verdadeiros cientistas, porque se contentavam com um universo guiado por deuses e explicado por mitos. Em todo caso, colecionar centenas de medições e catalogar intermináveis posições de estrelas e planetas é trivial se comparado à verdadeira ciência, à gloriosa ambição de tentar explicar tais observações através da compreensão da natureza básica do universo. Como declarou com razão o matemático e filósofo francês Henri Poincaré, “a ciência é construída com fatos, como uma casa é feita com pedras. Mas uma coleção de fatos não é mais ciência do que uma pilha de pedras é uma casa”.

Se os babilônios não foram os primeiros protocientistas, e quanto aos egípcios? A Grande Pirâmide de Queops antecede o Partenon em 2 mil anos e os egípcios certamente estavam mais avançados do que os gregos em ter-

mos de desenvolvimento de e madeira, velas e muitas outras tecnologia, não de ciência. A t como demonstrado pelos exen ciliar os rituais da morte, o co ção e a iluminação. Em resumo tornar a vida (e a morte) mais um esforço para compreende curiosidade, em lugar de busca

Embora cientistas e tecnól confusão freqüente é achar qu que tudo indica porque as desc tecnológicos. Por exemplo, os bertas a respeito da eletricidad ventar lâmpadas e muitos outrc a tecnologia avançava sem prec diam ser inventores bem-suced Quando fabricavam cerveja, tecnológicos e nos resultados, formado em outro, e o porquê. mecanismos químicos e bioquí

E assim os egípcios eram tecn e seus colegas eram cientistas, gregos eram idênticas às descri

O cientista não estuda a natu encanta com ela, e ele se encant fosse bela, não valeria a pena cc natureza, a vida não valeria a p aqui daquela beleza que atinge c aparências. Não que eu não val não tem nada a ver com a ciênci da que deriva da ordem harmom uma inteligência pura.

mos de desenvolvimento de escalas de peso, cosméticos, tintas, tranças de madeira, velas e muitas outras invenções. Estes, entretanto, são exemplos de tecnologia, não de ciência. A tecnologia é um exemplo de atividade prática, como demonstrado pelos exemplos egípcios fornecidos, que ajudavam a facilitar os rituais da morte, o comércio, o embelezamento, a escrita, a proteção e a iluminação. Em resumo, a tecnologia envolve todo o necessário para tornar a vida (e a morte) mais cômoda, enquanto a ciência é simplesmente um esforço para compreender o mundo. Os cientistas são movidos pela curiosidade, em lugar de buscar o bem-estar e a utilidade.

Embora cientistas e tecnólogos tenham objetivos muito diferentes, uma confusão frequente é achar que ciência e tecnologia são a mesma coisa, ao que tudo indica porque as descobertas científicas costumam levar a avanços tecnológicos. Por exemplo, os cientistas passaram décadas fazendo descobertas a respeito da eletricidade, que os tecnólogos então usaram para inventar lâmpadas e muitos outros engenhos. Nos tempos antigos, entretanto, a tecnologia avançava sem precisar da ciência, de modo que os egípcios podiam ser inventores bem-sucedidos sem nenhum entendimento da ciência. Quando fabricavam cerveja, eles estavam interessados nos métodos tecnológicos e nos resultados, e não no modo como um material era transformado em outro, e o porquê. Eles não tinham nenhum conhecimento dos mecanismos químicos e bioquímicos em ação.

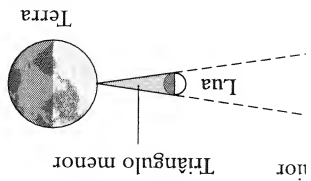
E assim os egípcios eram tecnólogos e não cientistas, enquanto Eratóstenes e seus colegas eram cientistas, não tecnólogos. As intenções dos cientistas gregos eram idênticas às descritas 2 mil anos depois por Henri Poincaré:

O cientista não estuda a natureza porque ela é útil; ele a estuda porque se encanta com ela, e ele se encanta porque a natureza é bela. Se a natureza não fosse bela, não valeria a pena conhecê-la, e se não valesse a pena conhecer a natureza, a vida não valeria a pena ser vivida. É claro que não estou falando aqui daquela beleza que atinge os sentidos, da beleza das características e das aparências. Não que eu não valorize esse tipo de beleza, longe disso, mas ela não tem nada a ver com a ciência. Aqui estou falando da beleza mais profunda da que deriva da ordem harmoniosa das partes e que pode ser percebida com uma inteligência pura.

Sol, depois que conhecemos sua distância. O nosso conhecimento do diâmetro da Lua é visível apenas de um pequeno trecho na Lua e a Lua parecem ter o mesmo tamanho (está em escala) mostra como um observador de dois triângulos semelhantes. O primeiro triângulo, até o Sol. Sabendo-se as distâncias entre a Lua, já é o bastante para deduzir o

tóstenes, Aristarco e Anaxágoras ilustro que aconteciam na antiga Grécia, endiam da lógica, da matemática, da ciência os gregos merecem realmente todo ses da ciência? Afinal, os babilônios ia, fazendo milhares de observações entre os filósofos e os historiadores da verdadeiros cientistas, porque se consideramos e explicado por mitos. Em línguas e catalogar intermináveis posições comparado à verdadeira ciência, a observações através da compreensão declarou com razão o matemático e ciência é construída com fatos, como coleção de fatos não é mais ciência do

neiros protocietistas, e quanto aos s antecede o Partenon em 2 mil anos avançados do que os gregos em ter-



Em resumo, os gregos tinham demonstrado que só se pode conhecer o diâmetro do Sol conhecendo-se sua distância, que depende do conhecimento da distância da Lua, o qual vem a partir do conhecimento de seu diâmetro. E isso depende do conhecimento do diâmetro da Terra, e esta foi a grande realização de Eratóstenes. O conhecimento dessas distâncias e diâmetros foi obtido estudando-se um profundo poço vertical no Trópico de Câncer, a sombra lançada pela Terra sobre a Lua, o fato de que Sol, Lua e Terra formam um ângulo reto na meia-lua, e a observação de que a Lua se encaixa perfeitamente sobre o Sol durante um eclipse solar. Acrescente-se a isso algumas suposições de que o luar nada mais é do que a luz solar refletida, e uma estrutura de lógica científica toma forma. Essa arquitetura de lógica científica tem uma beleza inerente que surge a partir do encaixe dos vários argumentos, de como as várias medições se ligam umas às outras e de como as diferentes teorias são introduzidas subitamente para adicionar solidez à estrutura.

Tendo completado sua fase inicial de medições, os astrônomos da Grécia antiga agora estavam prontos para examinar os movimentos do Sol, da Lua e dos planetas. Estavam a ponto de criar um modelo dinâmico do Universo em sua tentativa de compreender a interação entre os vários corpos celestes. Esse seria o próximo passo na estrada para um conhecimento profundo do universo.

Círculos dentro de círculos

Nossos ancestrais mais distantes estudavam o céu em detalhe, fosse para prever mudanças no clima, manter um registro do tempo ou encontrar as direções. A cada dia observavam o Sol cruzar o céu e a cada noite viam o desfile de estrelas que seguia em seu rastro. A terra onde caminhavam era firme e fixa, e por isso era natural presumir que os corpos celestes se moviam em relação a uma terra estática e não o contrário. Conseqüentemente, os antigos astrônomos desenvolveram uma visão de mundo na qual a Terra era um globo central, estático, com o universo girando ao seu redor.

Tabela 1

As medições feitas por Eratóstenes, assim a tabela abaixo colocando valores modernos das

Circunferência da Terra
Diâmetro da Terra
Diâmetro da Lua
Diâmetro do Sol
Distância Terra — Lua
Distância Terra — Sol

Esta tabela também serve como de escrever números muito grandes, muito, muito grandes

10^1 quer dizer 10
 10^2 quer dizer 10×10
 10^3 quer dizer $10 \times 10 \times 10$
 10^4 quer dizer $10 \times 10 \times 10 \times 10$

A circunferência da Terra, por exemplo, é
 $40.100 \text{ km} = 4,01 \times 10.000$

A notação exponencial é uma notação concisa e sem usar um monte de zeros, seguido por N zeros, de modo que

A notação exponencial também

10^{-1} significa $1 \div 10$
 10^{-2} significa $1 \div (10 \times 10)$
 10^{-3} significa $1 \div (10 \times 10 \times 10)$
 10^{-4} significa $1 \div (10 \times 10 \times 10 \times 10)$
etc.

Tabela 1

As medições feitas por Eratóstenes, Aristarco e Anaxágoras eram imprecisas, assim a tabela abaixo corrige os valores previamente citados fornecendo valores modernos das várias distâncias e diâmetros.

| | |
|-------------------------|---|
| Circunferência da Terra | $40.100 \text{ km} = 4,01 \times 10^4 \text{ km}$ |
| Diâmetro da Terra | $12.750 \text{ km} = 1,275 \times 10^4 \text{ km}$ |
| Diâmetro da Lua | $3.480 \text{ km} = 3,48 \times 10^3 \text{ km}$ |
| Diâmetro do Sol | $1.390.000 \text{ km} = 1,39 \times 10^6 \text{ km}$ |
| Distância Terra — Lua | $384.000 \text{ km} = 3,84 \times 10^5 \text{ km}$ |
| Distância Terra — Sol | $150.000.000 \text{ km} = 1,50 \times 0^8 \text{ km}$ |

Esta tabela também serve como introdução para a *notação exponencial*, um modo de escrever números muito grandes — e em cosmologia existem alguns números muito, muito grandes

| | |
|--|--|
| 10^1 quer dizer 10 | 10^1 quer dizer 10 |
| 10^2 quer dizer 10×10 | 10^2 quer dizer 10×10 |
| 10^3 quer dizer $10 \times 10 \times 10$ | 10^3 quer dizer $10 \times 10 \times 10$ |
| 10^4 quer dizer $10 \times 10 \times 10 \times 10$ | 10^4 quer dizer $10 \times 10 \times 10 \times 10$ |

A circunferência da Terra, por exemplo, pode ser escrita como:
 $40.100 \text{ km} = 4,01 \times 10.000 \text{ km} = 4,01 \times 10^4 \text{ km}$.

A notação exponencial é uma maneira excelente de escrever números de modo conciso e sem usar um monte de zeros. Outro modo de pensar em 10^N é como 1 seguido por N zeros, de modo que 10^3 é 1 seguido de três zeros que dá 1.000

A notação exponencial também é usada para escrever números muito pequenos:

| | |
|---|------------|
| 10^{-1} significa $1 \div 10$ | $= 0,1$ |
| 10^{-2} significa $1 \div (10 \times 10)$ | $= 0,01$ |
| 10^{-3} significa $1 \div (10 \times 10 \times 10)$ | $= 0,001$ |
| 10^{-4} significa $1 \div (10 \times 10 \times 10 \times 10)$ | $= 0,0001$ |

etc.

2 de círculos

avam o céu em detalhe, fosse para registro do tempo ou encontrar as cruzar o céu e a cada noite viam o istro. A terra onde caminhavam era sumir que os corpos celestes se mo-ção o contrário. Consequentemente, uma visão de mundo na qual a Terra niverso girando ao seu redor.

rado que só se pode conhecer o diâmetro da Terra, e esta foi a grande r do conhecimento de seu diâmetro. nto dessas distâncias e diâmetros foi o vertical no Trópico de Câncer, a , o fato de que Sol, Lua e Terra for-observação de que a Lua se encaixa eclipse solar. Acrescente-se a isso al- ntais é do que a luz solar refletida, e a forma. Essa arquitetura de lógica surge a partir do encaixe dos vários s se ligam umas às outras e de como ubitamente para adicionar solidez à e medições, os astrônomos da Grécia minar os movimentos do Sol, da Lua tr um modelo dinâmico do Universo ração entre os vários corpos celestes. para um conhecimento profundo do

Na realidade, é a Terra que se move em torno do Sol, e não o Sol que se move em torno da Terra, mas ninguém considerou esta possibilidade até que Filolau, de Crotona, entrasse no debate. Seguidor da escola pitagórica no século V a.C., ele foi o primeiro a sugerir que a Terra orbitava o Sol, e não vice-versa. No século seguinte, Heráclides do Ponto aperfeiçoou as idéias de Filolau, ainda que seus amigos pensassem que ele era louco, apelidando-o de *paradoxolog*, “o criador de paradoxos”. Os toques finais à sua visão do universo foram acrescentados por Aristarco, que nasceu no ano 310 a.C., no mesmo ano em que Heráclides morreu.

Embora Aristarco tenha contribuído para medir a distância até o Sol, esta foi uma realização menor comparada a sua concepção espantosamente precisa do universo. Ele tentava desalojar a visão instintiva (embora incorreta) do universo, na qual a Terra é o centro de tudo, como mostrado na figura 6(a). Em contraste, a visão de Aristarco, menos óbvia (embora correta), tem a Terra correndo em torno de um Sol mais dominante, como mostrado na figura 6(b). Aristarco também estava certo quando declarou que a Terra gira em torno de seu eixo a cada 24 horas, o que explica por que a cada dia encaramos o Sol, enquanto a cada noite olhamos na direção oposta.

Aristarco foi um filósofo muito respeitado, e suas idéias sobre a astronomia se tornaram bem conhecidas. De fato, sua crença num universo centrado no Sol foi documentada por Arquimedes, que escreveu: “Ele tem a hipótese de que as estrelas fixas e o Sol permanecem imóveis; e que a Terra se move em torno do Sol seguindo a circunferência de um círculo”. E, no entanto, os filósofos abandonaram completamente essa visão bem precisa do sistema solar, e a idéia de um mundo com o Sol no centro desapareceu pelos 1.500 anos seguintes. Supõe-se que os antigos gregos eram inteligentes, então por que rejeitaram a visão de mundo de Aristarco e preferiram um universo centrado na Terra?

Atitudes egocêntricas podem ter contribuído para a predominância da visão de mundo geocêntrica, mas existem outros motivos para se preferir um universo centrado na Terra em lugar do universo centrado no Sol de Aristarco. Um problema básico para a idéia de um mundo centrado no Sol é que ela parece simplesmente ridícula. Parece muito óbvio que o Sol gira em torno de uma Terra estática e não o contrário. Resumindo, o universo com o Sol no centro se chocava com o bom senso. Os bons cientistas, entretanto,

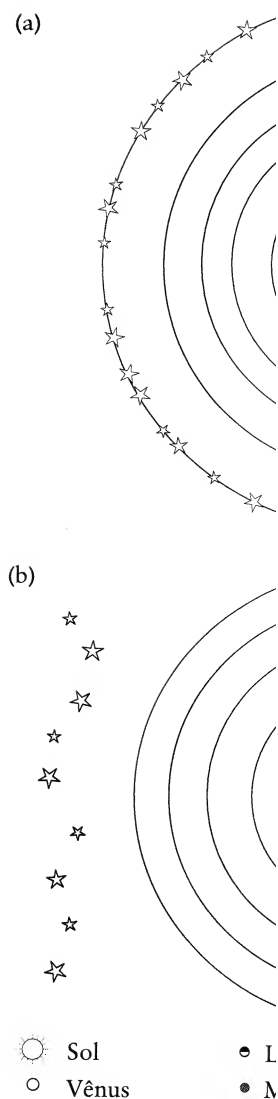


Figura 6 O diagrama (a) mostra o Terra, no qual a Lua, o Sol e os outros de estrelas orbitam a Terra. O diagrama (b) mostra o Sol no centro, com apenas a Lua orbitando-o.

em torno do Sol, e não o Sol que se considerou esta possibilidade até que te. Seguidor da escola pitagórica no ar que a Terra orbitava o Sol, e não des do Ponto aperfeiçoou as idéias de m que ele era louco, apelidando-o de . Os toques finais à sua visão do uni- co, que nasceu no ano 310 a.C., no do para medir a distância até o Sol, dada a sua concepção espantosamente ar a visão instintiva (embora incorre- ro de tudo, como mostrado na figura , menos óbvia (embora correta), tem mais dominante, como mostrado na rto quando declarou que a Terra gira s, o que explica por que a cada dia e olhamos na direção oposta. itado, e suas idéias sobre a astronomia a crença num universo centrado no Sol escreveu: "Ele tem a hipótese de que as is; e que a Terra se move em torno do ulo". E, no entanto, os filósofos aban- precisa do sistema solar, e a idéia de um pelos 1.500 anos seguintes. Supõe-se , então por que rejeitaram a visão de iverso centrado na Terra?

contribuído para a predominância da tem outros motivos para se preferir gar do universo centrado no Sol de deia de um mundo centrado no Sol é parece muito óbvio que o Sol gira em trário. Resumindo, o universo com o enso. Os bons cientistas, entretanto,

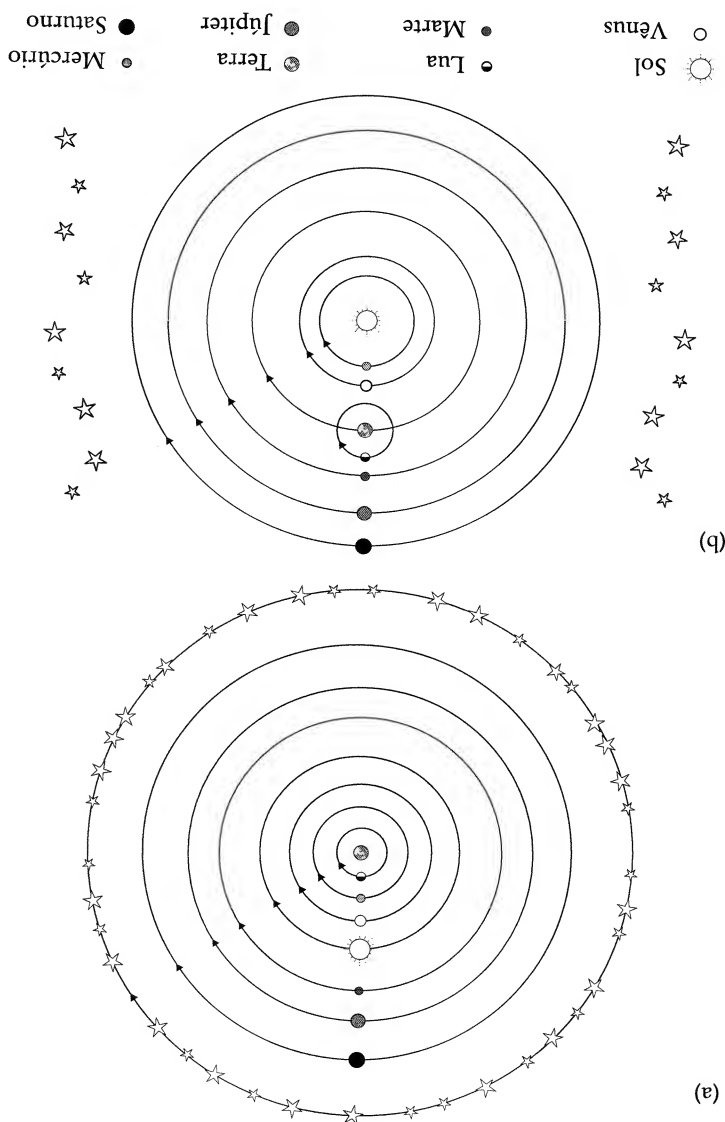


Figura 6 O diagrama (a) mostra o modelo clássico e incorreto do universo centrado na Terra, no qual a Lua, o Sol e os outros planetas orbitam a Terra. Até mesmo os milhares de estrelas orbitam a Terra. O diagrama (b) mostra a visão de Aristarco do universo centrado no Sol, com apenas a Lua orbitando a Terra. Nesse caso, as estrelas formam o fundo estático do universo

não devem ser abalados pelo bom senso porque às vezes ele tem pouco a ver com a verdade científica subjacente. Albert Einstein condenou o bom senso, declarando que ele é “a coleção de preconceitos adquiridos aos 18 anos”.

Outro motivo para os gregos rejeitarem o sistema solar de Aristarco foi sua aparente incapacidade de suportar a investigação científica. Aristarco tinha criado um modelo de universo que devia corresponder à realidade, mas não estava claro se este modelo era preciso. Será que a Terra de fato orbitava o Sol? Os críticos apontavam três falhas aparentes no modelo centrado no Sol de Aristarco.

Em primeiro lugar, os gregos acreditavam que, se a Terra se movesse, nós sentiríamos o vento a soprar constantemente contra nós e seríamos derrubados quando o solo corresse sob nossos pés. E, no entanto, não sentimos esse vento constante, nem o solo foge sob nossos pés, daí os gregos concluírem que a Terra devia ser estática. É claro que a Terra se move, e o motivo pelo qual não percebemos sua fantástica velocidade através do espaço é que tudo na Terra se move com ela, incluindo nós, a atmosfera e o solo. Os gregos não conseguiram compreender esse argumento.

O segundo ponto problemático era que uma Terra móvel era incompatível com a compreensão grega da gravidade. Como mencionamos antes, a idéia tradicional era de que tudo tendia a se mover em direção ao centro do universo, e a Terra já estava no centro, por isso não se movia. Essa teoria fazia sentido perfeitamente, pois explicava que as maçãs caíam das árvores em direção ao centro da Terra porque estavam sendo atraídas para o centro do universo. Mas, se o Sol fosse o centro do universo, então por que os objetos caíam em direção à Terra? Nesse caso, as maçãs não deviam cair das árvores e sim serem sugadas em direção ao Sol — de fato, tudo na Terra devia cair em direção ao Sol. Hoje em dia temos uma compreensão mais clara da gravidade, que torna um sistema solar centrado no Sol muito mais sensato. A moderna teoria da gravidade descreve de que forma objetos próximos da Terra maciça são atraídos para a Terra, enquanto, por sua vez, os planetas são mantidos em órbita pela atração de um Sol ainda mais maciço. Mas, novamente, tal explicação estava além de limitada estrutura científica dos gregos.

O terceiro motivo para os filósofos gregos rejeitarem o universo centrado no Sol era a aparente ausência de qualquer mudança nas posições das estre-

las. Se a Terra viajava imensas observações de posição móvel resultaria n estrelas deveriam se mover u como *paralaxe estelar*. É poss local simplesmente colocando Feche o olho esquerdo e use o objeto próximo, talvez a beir direito e abra o esquerdo e vc em relação à borda da janela para o outro e seu dedo pare mudar o ponto de observaçã uma distância de alguns centín em relação a outro objeto. Iss

A distância da Terra ao So Terra orbitasse o Sol então ela tância de sua posição original ser impossível detectar qualq deveriam se deslocar umas en ano, com a enorme mudança d orbitasse o Sol. Uma vez mais clusão de que a Terra não se m Terra orbita o Sol, e a paralaxe gregos porque as estrelas estão cia reduz o efeito da paralaxe mas desta vez estendendo o b metro de distância. Novament a borda da janela. Dessa vez, esquerdo, a mudança de paral tes, porque seu dedo está mais resumo, a Terra se move, mas com a distância, e as estrelas es não podia ser detectada com i

Na época, os indícios con

las. Se a Terra viajava imensas distâncias em torno do Sol, então, deveríamos observar o universo de posições diferentes ao longo do ano. Nosso ponto de observação móvel resultaria numa mudança na perspectiva do universo, e as estrelas deveriam se mover umas em relação às outras, o que é conhecido como *paralaxe estelar*. É possível perceber o efeito da paralaxe num nível local simplesmente colocando um dedo a alguns centímetros de nosso rosto. Feche o olho esquerdo e use o direito para alinhar seu dedo em relação a um objeto próximo, talvez a beirada de uma janela. Em seguida, feche o olho direito e abra o esquerdo e você verá que o dedo se deslocou para a direita em relação à borda da janela. Troque o ponto de observação de um olho para o outro e seu dedo parecerá saltar de um lado para o outro. Assim, mudar o ponto de observação de um olho para o outro, o que equivale a uma distância de alguns centímetros, desloca a posição aparente de seu dedo em relação a outro objeto. Isso é ilustrado na Figura 7(a).

A distância da Terra ao Sol é de 150 milhões de quilômetros, assim, se a Terra orbitasse o Sol então ela estaria a 300 milhões de quilômetros de distância de sua posição original ao final de seis meses. Os gregos descobriram ser impossível detectar qualquer mudança nas posições das estrelas. Elas deveriam se deslocar umas em relação às outras, durante o período de um ano, com a enorme mudança de perspectiva que deveria resultar caso a Terra orbitasse o Sol. Uma vez mais os indícios pareciam apontar para uma conclusão de que a Terra não se movia e era o centro do universo. É claro que a Terra orbita o Sol, e a paralaxe estelar existe, mas era imperceptível para os gregos porque as estrelas estão muito distantes. Podemos ver como a distância reduz o efeito da paralaxe repetindo a experiência de piscar os olhos, mas desta vez estendendo o braço de modo que o dedo fique a quase um metro de distância. Novamente use o olho direito para alinhar o dedo com a borda da janela. Dessa vez, quando trocar o ponto de vista para o olho esquerdo, a mudança de paralaxe será muito menos significativa do que antes, porque seu dedo está mais afastado, como ilustrado na figura 7(b). Em resumo, a Terra se move, mas a mudança de paralaxe rapidamente se reduz com a distância, e as estrelas estão muito distantes, assim, a paralaxe estelar não podia ser detectada com instrumentos primitivos.

Na época, os indícios contra o modelo de Aristarco, de um universo

porque às vezes ele tem pouco a ver com o bom senso, bert Einstein condenou o bom senso, conceitos adquiridos aos 18 anos".

arem o sistema solar de Aristarco foi r a investigação científica. Aristarco que devia corresponder à realidade, ra preciso. Será que a Terra de fato m três falhas aparentes no modelo

tavam que, se a Terra se movesse, nós mente contra nós e seríamos derrubados. E, no entanto, não sentimos esses nossos pés, daí os gregos concluíram que a Terra se move, e o motivo pelo ocidade através do espaço é que tudo s, a atmosfera e o solo. Os gregos não ento.

que uma Terra móvel era incompatível e. Como mencionamos antes, a idéia rover em direção ao centro do universo não se movia. Essa teoria fazia sentido magas caíam das árvores em direção lo atraídas para o centro do universo. c, então por que os objetos caíam em o deviam cair das árvores e sim serem ido na Terra devia cair em direção ao ao mais clara da gravidade, que torna o mais sensato. A moderna teoria da s próximos da Terra maciça são atraídos, os planetas são mantidos em órbita cigo. Mas, novamente, tal explicação fica dos gregos.

gregos rejeitaram o universo centrado quer mudança nas posições das estre-

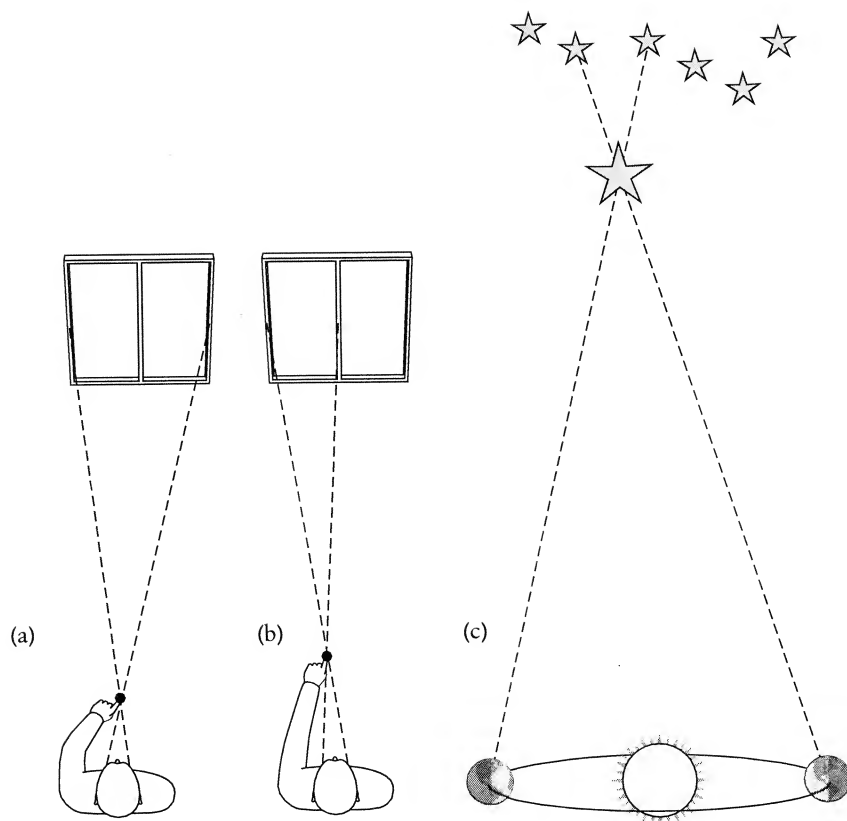


Figura 7 Paralaxe é a mudança aparente na posição de um objeto devido a uma mudança no ponto de visada do observador. O diagrama (a) mostra como um dedo se alinha com a borda da janela esquerda quando visto com o olho direito, mas muda quando visto com o outro olho. O diagrama (b) mostra que a mudança de paralaxe provocada pela mudança entre os olhos se reduz significativamente se o dedo estiver mais distante. Como a Terra orbita o Sol, nosso ponto de observação muda, se uma estrela servir de marcador, então sua posição deveria mudar em relação às estrelas mais distantes no decorrer de um ano. O diagrama (c) mostra como a estrela marcadora se alinha com dois fundos estelares diferentes dependendo da posição da Terra. Contudo, se o diagrama (c) fosse desenhado em escala, então as estrelas estariam a mais de um quilômetro acima do topo da página! Portanto, a mudança de paralaxe seria minúscula e imperceptível para os gregos antigos. Os gregos achavam que as estrelas estavam muito mais próximas, assim, para eles, uma ausência na mudança de paralaxe implicava uma Terra estática.

centrado no Sol, pareciam todos os seus amigos filósofos na Terra. Seu modelo tradicional era coerente. Eles estavam satisfeitos com ele. Contudo, havia um problema. A Lua e as estrelas pareciam não se mover. Se havia cinco corpos celestes conhecidos, um deles até mesmo parecia reverter a direção de seu movimento, como *movimento retrógrado*. Esse movimento conhecido: Mercúrio, Vênus e Júpiter. O “planeta” deriva do grego *planeta*.

De modo semelhante, o modelo geocêntrico era como um “carneiro selvagem”. E os antigos egípcios chamavam o planeta de “aquele que viaja para trás”.

Na nossa moderna perspectiva, o comportamento desses corpos celestes orbitam o Sol de modo consistente. A Terra, como forma móvel, a Terra, é por si só um planeta. Em especial os movimentos retrógrados são fáceis de explicar. A figura 7, contendo apenas o Sol, a Terra e uma estrela, mostra como a perspectiva centrada na Terra muda quando o planeta gira em torno do Sol. Parecia que Marte, como os outros planetas, se movia de modo muito peculiar enquanto observados da Terra. Se tivessem movimentos retrógrados, os gregos apresentavam por órbitas em forma de círculo.

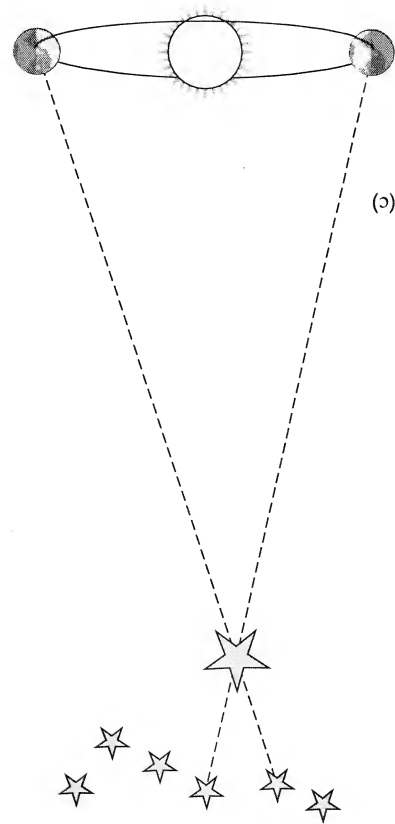
Essas órbitas planetárias eram muito complicadas para os antigos gregos, porque eles acreditavam de acordo com Platão e seu discípulo, Aristóteles, que a Terra era o centro do universo.

centrado no Sol, pareciam irresistíveis, portanto é bem compreensível que todos os seus amigos filósofos tenham permanecido leais ao modelo centrado na Terra. Seu modelo tradicional parecia perfeitamente sensato, racional e coerente. Eles estavam satisfeitos com sua visão do universo e seu lugar dentro dele. Contudo, havia uma questão importante. É bem certo que o Sol, a Lua e as estrelas parecem marchar obedientemente em torno da Terra, mas havia cinco corpos celestes que vagueavam meio a esmo pelo céu. De vez em quando, um deles até mesmo se atrevia a parar momentaneamente, antes de reverter a direção de seu movimento por um tempo, num recuo conhecido como *movimento retrógrado*. Esses rebeldes errantes eram os cinco planetas conhecidos: Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno. De fato, a palavra “planeta” deriva do grego *planetes*, que significa errante.

De modo semelhante, o termo babilônio para planeta era *bibbu*, literalmente “carnetiro selvagem” — porque os planetas pareciam perdidos no céu. E os antigos egípcios chamavam Marte de *sedked-ef em khetkhet*, que significa “aquele que viaja para trás”.

Na nossa moderna perspectiva da Terra orbitando o Sol, é fácil entender o comportamento desses vagabundos celestes. Na realidade, os planetas orbitam o Sol de modo constante, mas os observamos a partir de uma plataforma móvel, a Terra, e é por isso que seus movimentos parecem irregulares. Em especial os movimentos retrógrados exibidos por Marte, Saturno e Júpiter são fáceis de explicar. A figura 8(a) mostra um sistema solar simplificado contendo apenas o Sol, a Terra e Marte. A Terra orbita o Sol mais rapidamente do que Marte, e, à medida que alcançamos Marte e o ultrapassamos, nossa linha de visada de Marte oscila para trás e para a frente. Contudo, na velha perspectiva centrada na Terra, segundo a qual estamos no centro do universo e tudo gira em torno de nós, a órbita de Marte era um enigma. Parecia que Marte, como mostrado na figura 8(b), descrevia um laço de modo muito peculiar enquanto orbitava a Terra. Saturno e Júpiter também tinham movimentos retrógrados semelhantes, que os gregos igualmente representavam por órbitas em forma de laço.

Essas órbitas planetárias enlaçadas eram tremendamente problemáticas para os antigos gregos, porque todas as órbitas deviam ser circulares, de acordo com Platão e seu discípulo Aristóteles. Eles afirmavam que o círculo,

[illegible]

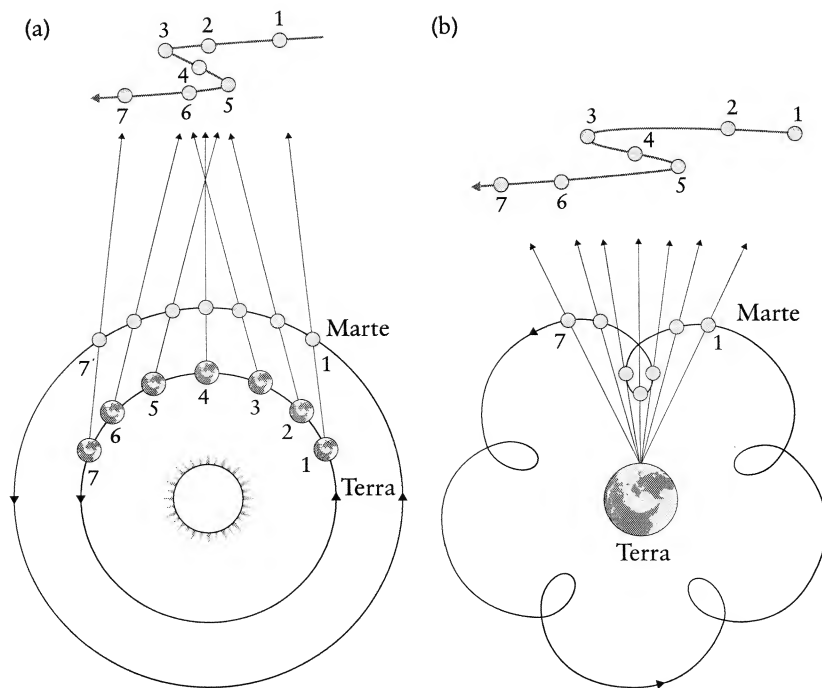


Figura 8 Planetas como Marte, Júpiter e Saturno apresentam o chamado movimento retrógrado quando vistos da Terra. O diagrama (a) mostra um Sistema Solar simplificado para conter apenas a Terra e Marte orbitando (no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio) em torno do Sol. Da posição 1 veríamos Marte cada vez mais à nossa frente, o que continuaria da posição 2. Mas, na posição 3, Marte pára e na posição 4 ele agora está se movendo para a direita, e ainda mais para a direita quando a Terra chega à posição 5. Acontece então outra pausa antes que Marte retome sua direção original de movimento, como visto das posições 6 e 7. É claro que Marte está se movendo continuamente em torno do Sol no sentido contrário aos ponteiros do relógio, mas o planeta parece estar zigzagueando devido aos movimentos relativos da Terra e de Marte. O movimento retrógrado faz sentido quando num modelo do universo centrado no Sol.

O diagrama (b) mostra como os adeptos do modelo centrado na Terra percebiam a órbita de Marte. O zigzague do planeta era interpretado como uma órbita realmente em forma de laço. Em outras palavras, os tradicionalistas acreditavam que a Terra, estática, ficava no centro do universo, enquanto Marte descrevia laços em torno da Terra.

com sua simplicidade, beleza perfeita, e como os céus celestes tinham que viajar e minaram o problema e, a solução habilidosa — um modo de uma combinação de círculos. Aristóteles sobre a perfeição de um astrônomo, Ptolomeu.

A visão de mundo de Ptolomeu aceita, de que a Terra estava no modo “todos os animais e tudo flutuando no ar”. Em seguida, em termos de simples círculos, ele desenvolveu a teoria dos círculos. Para gerar uma órbita tal como a seguida por Marte, ele usou um círculo (conhecido como *deferente*) para girar. O planeta então ocupava uma órbita giratória. Se o círculo deferente girava em torno desse pino e o planeta girava em torno desse pino, a forma, se o círculo deferente girava em torno do planeta, então o planeta seguiria uma trajetória como a mostrada na figura 9(b). Correnteza ao mesmo tempo o eixo girava, então a trajetória do planeta no dos dois círculos, o que é mostrado na figura 9(c).

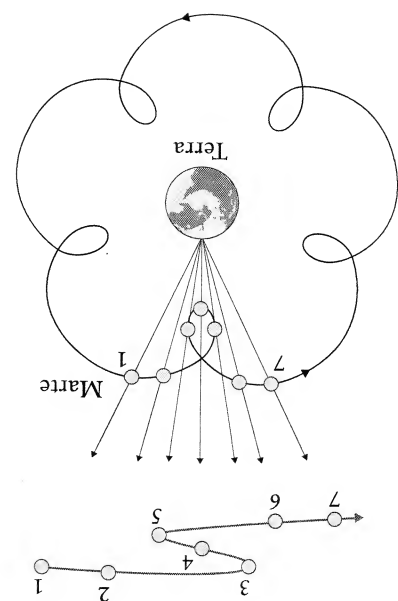
Embora tal descrição de movimento de Ptolomeu, era na verdade, Ptolomeu imaginou seu modelo de cristal, mas, para simplificar, usou círculos bidimensionais. Também os movimentos dos vários planetas, e

com sua simplicidade, beleza e ausência de princípio ou fim, era a forma perfeita, e como os céus eram o reino da perfeição, então todos os corpos celestes tinham que viajar em círculo. Vários astrônomos e matemáticos examinaram o problema e, ao longo de vários séculos, desenvolveram uma solução habilidosa — um modo de descrever as órbitas planetárias em termos de uma combinação de círculos, que estava de acordo com a lei de Platão e Aristóteles sobre a perfeição circular. A solução acabou associada ao nome de um astrônomo, Ptolomeu, que viveu em Alexandria no século II.

A visão de mundo de Ptolomeu começava com a suposição, amplamente aceita, de que a Terra estava no centro do Universo e estacionária, de outro modo “todos os animais e todos os pesos soltos seriam deixados para trás, flutuando no ar”. Em seguida ele explicava as órbitas do Sol e da Lua em termos de simples círculos. Então, para explicar o movimento retrógrado, ele desenvolveu a teoria dos círculos dentro de círculos, como ilustrado na figura 9. Para gerar uma órbita com um movimento retrógrado periódico, tal como a seguida por Marte, Ptolomeu propunha começar com um único círculo (conhecido como *deferente*), com uma haste presa ao círculo de modo a girar. O planeta então ocupava uma posição na extremidade dessa haste e girava. Se o círculo deferente principal permanecesse fixo, a haste giraria em torno desse pino e o planeta descreveria uma órbita circular com um raio curto (conhecido como *epiciclo*), como mostrado na figura 9(a). De outra forma, se o círculo deferente principal girasse e a haste permanecesse fixa, então o planeta seguiria uma trajetória circular com um raio maior, como mostrado na figura 9(b). Contudo, se a haste girasse em torno de seu eixo e ao mesmo tempo o eixo girasse junto com o círculo deferente principal, então a trajetória do planeta seria uma mistura de seus movimentos em torno dos dois círculos, o que imita um lago retrógrado, como mostrado na figura 9(c).

Embora tal descrição de círculos e eixos transmita a idéia central do modelo de Ptolomeu, era na verdade muito mais complicada. Para começar, Ptolomeu imaginou seu modelo em três dimensões e construído com esferas de cristal, mas, para simplificar, vamos continuar a raciocinar em termos de círculos bidimensionais. Também, de modo a explicar os movimentos retró-

grados dos vários planetas, Ptolomeu tinha que ajustar cuidadosamente o modelo de Ptolomeu, era na verdade muito mais complicada. Para começar, Ptolomeu imaginou seu modelo em três dimensões e construído com esferas de cristal, mas, para simplificar, vamos continuar a raciocinar em termos de círculos bidimensionais. Também, de modo a explicar os movimentos retró-



(b)

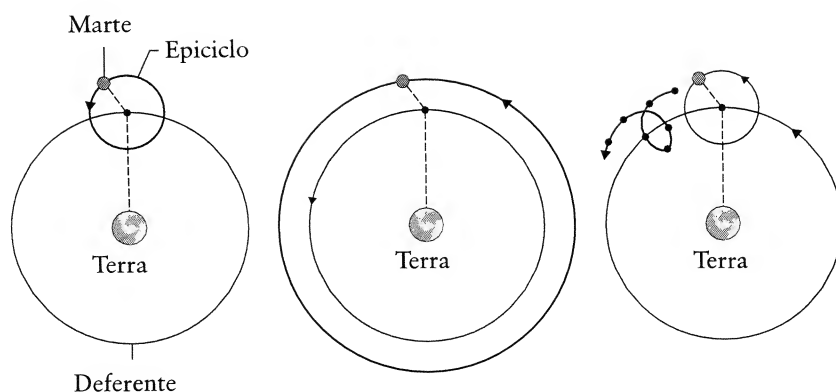


Figura 9 O modelo ptolomaico do universo explicava as órbitas enlaçadas de planetas como Marte usando combinações de círculos. O diagrama (a) mostra o círculo principal, chamado de deferente, e uma vareta giratória com um planeta em sua extremidade. Se o deferente não girar, mas a vareta girar, o planeta descreverá um círculo menor, marcado em negrito, na ponta da vareta, que é chamado de epiciclo.

O diagrama (b) mostra o que acontece se a vareta giratória permanecer fixa e o deferente girar. O planeta descreverá um círculo com um raio maior.

O diagrama (c) mostra o que acontece se a vareta girar em torno de seu ponto de fixação e o ponto girar com o deferente. Dessa vez o epiciclo ficará sobreposto ao deferente e a órbita do planetas será uma combinação dos dois movimentos circulares, o que resultará em uma órbita retrógrada associada a planetas como Marte. O raio do epiciclo e do deferente podem ser ajustados e as duas velocidades de rotação podem ser escolhidas para imitar a trajetória de qualquer planeta.

raio do deferente e do epiciclo para cada planeta, e selecionar a velocidade com que cada um girava. Para uma precisão ainda maior, ele introduziu dois outros elementos variáveis. O excêntrico, definido como um ponto ao lado da Terra que agia como um centro levemente deslocado para o círculo deferente, enquanto o *equante* definia outro ponto próximo da Terra cuja influência contribuía para a velocidade variável do planeta. É difícil imaginar essa explicação, cada vez mais complicada, para as órbitas planetárias, mas, essencialmente, ela consistia em nada mais do que círculos em cima de círculos, e dentro de mais círculos.

A melhor analogia para o modelo de universo de Ptolomeu pode ser encontrada num parque de diversões. A Lua segue uma trajetória simples, como um cavalo num carrossel tranqüilo para crianças pequenas. Mas a tra-

jetória de Marte parece mais u que prende a pessoa numa gô: longo braço giratório. E o pas a gôndola gira, mas ao mesm maior, na extremidade do bra mentos se combinam, produz frente; em outras, a gôndola velocidade é reduzida ou me gôndola gira em torno de um deferente.

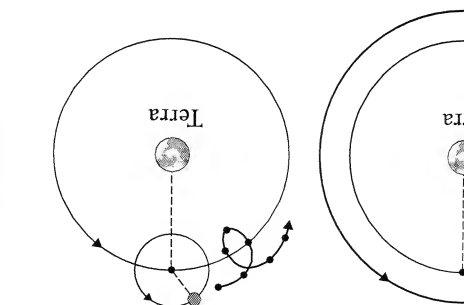
O modelo ptolomaico de se ajustar à crença de que tu objetos celestes seguem trajet rivelmente complexo, cheio c tes, equantes e excêntricos. Er da astronomia escrita por Art como “o produto de uma fil Mas, apesar de estar fundame fazia uma das exigências bási posição e o movimento de ca que qualquer modelo anterior no Sol, que é basicamente cor dos planetas com tal precisão de Ptolomeu tenha permanec Tabela 2 resume as principais entendido pelos antigos grego ridade do modelo centrado na

O modelo centrado na Ter *Hè megalè syntaxis* (A grande tornou o texto mais importat fato, no milênio que se seguiu fluenciados pelo *Syntaxis* e n gem do universo centrado na maior no ano 827, quando foi

jetória de Marte parece mais um atordoadante passeio num carrossel rodopiante, que prende a pessoa numa gôndola que gira em torno da extremidade de um longo braço giratório. E o passageiro segue uma trajetória circular enquanto a gôndola gira, mas ao mesmo tempo está seguindo uma trajetória circular maior, na extremidade do braço maior. Em algumas ocasiões, os dois movimentos se combinam, produzindo uma velocidade ainda mais elevada para a frente; em outras, a gôndola se move para trás em relação ao braço, e sua velocidade é reduzida ou mesmo invertida. Na terminologia ptolomaica, a gôndola gira em torno de um epiciclo, enquanto o braço maior descreve um deferente.

O modelo ptolomaico de universo centrado na Terra foi elaborado para se ajustar à crença de que tudo gira em torno da Terra e de que todos os objetos celestes seguem trajetórias circulares. Isso resultou num modelo terrivelmente complexo, cheio de epiciclos que se empilhavam sobre deferentes, equantes e excêntricos. Em *Os sonâmbulos*, uma história dos primórdios da astronomia escrita por Arthur Koestler, o modelo ptolomaico é descrito como "o produto de uma filosofia cansada e de uma ciência decadente". Mas, apesar de estar fundamentalmente errado, o modelo ptolomaico satisfazia uma das exigências básicas de um modelo científico, já que previa a posição e o movimento de cada planeta com um grau de precisão maior do que qualquer modelo anterior. Até mesmo o modelo de Aristarco, centrado no Sol, que é basicamente correto, não era capaz de prever os movimentos dos planetas com tal precisão. Por isso, não é surpreendente que o modelo de Ptolomeu tenha permanecido, enquanto o de Aristarco desaparecia. A Tabela 2 resume as principais forças e fraquezas dos dois modelos, como entendido pelos antigos gregos, e só serve para reforçar a aparente superioridade do modelo centrado na Terra.

O modelo centrado na Terra de Ptolomeu foi perpetuado através de seu *Hê megalê syntaxis* (A grande coleção), escrito em torno do ano 150 e que se tornou o texto mais importante da astronomia nos séculos seguintes. De fato, no milênio que se seguiu, todos os astrônomos da Europa foram influenciados pelo *Syntaxis* e nenhum deles questionou seriamente sua imagem do universo centrado na Terra. O *Syntaxis* atingiu um público ainda maior no ano 827, quando foi traduzido para o árabe e rebatizado *Almagesto*



o explicava as órbitas enlaçadas de planetas a com um planeta em sua extremidade. Se o planeta descrever um círculo menor, marcado pelo epiciclo.

se a vareta giratória permanecer fixa e o círculo com um raio maior.

ada planeta, e selecionar a velocidade de cisão ainda maior, ele introduziu dois pontos, definido como um ponto ao lado do ponto deslocado para o círculo deferente próximo da Terra cuja invariável do planeta. É difícil imaginar cada, para as órbitas planetárias, mas, mais do que círculos em cima de círculos.

o de universo de Ptolomeu pode ser A Lua segue uma trajetória simples, illo para crianças pequenas. Mas a tra-

(O *maior*). E assim, durante a estagnação acadêmica da Idade Média européia, as idéias de Ptolomeu foram mantidas vivas e estudadas pelos grandes estudiosos islâmicos do Oriente Médio. Durante a era de ouro do império islâmico, os astrônomos árabes inventaram muitos instrumentos astronômicos, fizeram observações significativas do céu e construíram vários observatórios importantes, como o al-Shammasiyyah, em Bagdá, mas nunca duvidaram do universo centrado na Terra de Ptolomeu, com suas órbitas planetárias definidas por círculos dentro de círculos dentro de círculos.

À medida que a Europa finalmente começava a emergir de seu sono intelectual, o antigo conhecimento dos gregos foi exportado de volta para o Ocidente através da cidade moura de Toledo, na Espanha, onde existia uma magnífica biblioteca islâmica. Quando a cidade foi tomada dos mouros pelo rei espanhol Afonso VI, em 1085, estudiosos de toda a Europa tiveram a oportunidade inédita de acessar um dos mais importantes depósitos de conhecimento do mundo. A maior parte do conteúdo da biblioteca estava escrita em árabe, assim, a primeira prioridade foi estabelecer um departamento de tradução em escala industrial. A maioria dos tradutores trabalhava com a ajuda de um intermediário para traduzir do árabe para o vernáculo espanhol, e então para o latim. Mas um dos tradutores mais brilhantes e prolíficos foi Gerard de Cremona, que aprendera o árabe, de modo que podia conseguir uma interpretação mais direta e precisa. Ele tinha sido atraído para Toledo pelos boatos de que a obra-prima de Ptolomeu poderia ser encontrada na biblioteca, e, dos 76 livros seminais que ele traduziu do árabe para o latim, o *Almagesto* é sua realização mais significativa.

Graças aos esforços de Gerard e outros tradutores, os estudiosos europeus conseguiram familiarizar-se com os escritos do passado, e a pesquisa astronômica na Europa foi revigorada. Paradoxalmente, o progresso foi sufocado, porque havia uma reverência tão grande pelos trabalhos dos antigos gregos que ninguém se atrevia a questioná-los. Presumia-se que os estudiosos clássicos tinham dominado tudo o que podia ser conhecido, e, assim, livros como o *Almagesto* eram lidos como se fossem sagrados. E isso apesar do fato de os antigos terem cometido os maiores erros imagináveis. Por exemplo, os textos de Aristóteles eram considerados sagrados, apesar de ele declarar que os homens tinham mais dentes que as mulheres. Uma generalização

baseada na observação de que... Embora tivesse se casado com o trabalho de olhar a boca de um lógico excepcional, mas raramente a experimentação. A ironia de tudo isso foi que durante séculos para recuperar a verdade, passaram séculos desaprendendo a lição do *Almagesto* por Gerard de Cremona centrado na Terra sobreviveu.

Tabela 2

Esta tabela enumera os vários critérios e centrados no Sol podem ser julgados milênio antes de Cristo. Os desempenhos de cada teoria em vários critérios indicam ausência de dados e, de vista dos antigos, o modelo copernicano (simplicidade), ainda que agora

| Critério | |
|-----------------------------|------------------------------|
| 1. Bom senso | Parece da Terra |
| 2. Consciência de movimento | Não suportar mover |
| 3. Cair no solo | A cent que ob seja, o para o |
| 4. Paralaxe estelar | Não se ausênc ra está nário |

baseada na observação de que os cavalos têm mais dentes do que as éguas. Embora tivesse se casado duas vezes, Aristóteles aparentemente nunca se deu ao trabalho de olhar a boca de uma de suas esposas. Ele pode ter sido um lógico excepcional, mas não compreendia os conceitos de observação e experimentação. A ironia de tudo isso é que os acadêmicos tinham esperado durante séculos para recuperar a sabedoria dos antigos — e agora teriam que passar séculos desaprendendo os erros dos antigos. De fato, depois da tradução do *Almagesto* por Gerard, em 1175, o modelo de Ptolomeu do universo centrado na Terra sobreviveu intacto por mais quatrocentos anos.

Tabela 2

Esta tabela enumera os vários critérios sob os quais os modelos centrados na Terra e centrados no Sol podem ser julgados, com base no que era conhecido no primeiro milênio antes de Cristo. Os vês e as cruzes dão indicações aproximadas do desempenho de cada teoria em relação aos sete critérios, e os pontos de interrogação indicam ausência de dados ou uma mistura de acordo e desacordo. Do ponto de vista dos antigos, o modelo centrado no Sol se sai melhor em apenas uma área (simplicidade), ainda que agora saibamos estar mais próximo da realidade.

| Critério | Modelo centrado na Terra | Sucesso |
|-----------------------------|---|---------|
| 1. Bom senso | Parece óbvio que tudo gira em torno da Terra | ✓ |
| 2. Consciência de movimento | Não detectamos nenhum movimento portante a Terra não pode estar se movendo. | ✓ |
| 3. Cair no solo | A centralidade da Terra explica por que objetos parecem cair ao solo, ou seja, os objetos estão sendo atraídos para o centro do universo. | ✓ |
| 4. Parallaxe estelar | Não se detecta a parallaxe estelar e sua ausência é compatível com uma Terra estática e um observador estacionário | ✓ |

igação acadêmica da Idade Média euro-ntidas vivas e estudadas pelos grandeso. Durante a era de ouro do impéri-aram muitos instrumentos astronômi-do céu e construíram vários observa-mmasyiah, em Bagdá, mas nuncaTerra de Ptolomeu, com suas órbitas tro de círculos dentro de círculos. começava a emergir de seu sono inte-pregos foi exportado de volta para oToledo, na Espanha, onde existia umaa cidade foi tomada dos mouros pelo tudiosos de toda a Europa tiveram a os mais importantes depósitos de co-do conteúdo da biblioteca estava es-idade foi estabelecido um departamento dos tradutores trabalhava com a rizar do árabe para o vernáculo espa- os tradutores mais brilhantes e prolifi-endera o árabe, de modo que podia ter e precisa. Ele tinha sido atraídoa-prima de Ptolomeu poderia ser en- os seminários que ele traduziu do árabeção mais significativa. ntos tradutores, os estudiosos euro- os escritos do passado, e a pesquisa. Paradoxalmente, o progresso foi su-ão grande pelos trabalhos dos antigos- toná-los. Presumia-se que os estudio- o que podia ser conhecido, e, assim, como se fossem sagrados. E isso apesar- s maiores erros imagináveis. Por exem- siderados sagrados, apesar de ele de- es que as mulheres. Uma generalização

| | | |
|--------------------------------------|--|---|
| 5. Previsão de órbitas planetárias | Muito aproximadas, as melhores já obtidas. | ✓ |
| 6. Movimento retrógrado dos planetas | Explicado com epiciclos e deferentes. | ✓ |
| 7. Simplicidade | Muito complicado — epiciclos diferentes, equantes e excêntricos. | X |

| Critério | Modelo centrado no Sol | Sucesso |
|--------------------------------------|--|---------|
| 1. Bom senso | É necessário um salto de imaginação e lógica para ver que a Terra pode girar ao redor do Sol. | X |
| 2. Consciência de movimento | Não percebemos nenhum movimento, o que não é fácil de explicar se a Terra está se movendo. | X |
| 3. Cair no solo | Não há explicação óbvia para o fato de os objetos caírem ao solo num modelo em que a Terra não fica no centro. | X |
| 4. Paralaxe estelar | A Terra se move, assim a ausência aparente de paralaxe estelar deve ser decorrente das imensas distâncias; espera-se que a paralaxe seja detectada com equipamento melhor. | ? |
| 5. Previsão de órbitas planetárias | Bons resultados, mas não tão bons como no modelo centrado na Terra | ? |
| 6. Movimento retrógrado dos planetas | Uma consequência natural do movimento da Terra e do nosso ponto de vista | ✓ |
| 7. Simplicidade | Muito simples — tudo percorre círculos | ✓ |

Nesse meio-tempo, contaram-se personalidades como Afonso de Toledo em sua capital que ficou conhecido como 7 baseadas em suas próprias c. Embora fosse um forte patri pontado com o intrincado s equantes e excêntricos: “Se c antes de iniciar a Criação, eu

Então, no século XIV, Nic declarou abertamente que a não tinha sido provada comp acreditava estar errada. E, na Cusa sugeriu que a Terra nã que o Sol ocupasse o trono v

O mundo teria que esperar tivesse a coragem de rearruma dos gregos. O homem que ac Sol, de Aristarco, foi batizado forma de Nicolau Copérnico.

Nascido em 1473, em uma pró na atual Polônia, Copérnico foi principalmente devido à influêr Tendo estudado direito e medi go era agir como médico e seci dades que exigissem muito de dedicar a várias atividades. Tor lheiro na reforma monetária e para o latim do obscuro poeta

Entretanto, a grande paixã

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---------|
| adadas, as melhores já | ✓ | epíclidos e deferen- | ✓ | ado — epíclidos de-tes e excêntricos. | | Entrado no Sol | Sucesso |
| o salto de imaginação er que a Terra pode to Sol. | X | is nenhum movimen-fácil de explicar se a vendo. | X | ção óbvia para o fato aitem ao solo num a Terra não fica no | X | re, assim a ausência ilaxe estelar deve ser imensas distâncias; paralaxe seja deterc-amento melhor. | |
| cia natural do movi-e do nosso ponto de | ✓ | — tudo percorre cit- | ✓ | | | | |

Nesse meio-tempo, contudo, algumas críticas menores foram feitas por personalidades como Afonso X, rei de Castela e Leão (1221-84). Tendo trans- formado Toledo em sua capital, ele pediu aos astrônomos que elaborassem o que ficou conhecido como *Tabelas alfonsinas* dos movimentos planetários, baseadas em suas próprias observações e em tabelas traduzidas do árabe. Embora fosse um forte patrono da astronomia, Afonso permanecia desa- pontado com o intrincado sistema de Ptolomeu de deferentes, epíclidos, equantes e excêntricos: “Se o Senhor Todo-poderoso tivesse me consultado antes de iniciar a Criação, eu teria recomendado alguma coisa mais simples”. Então, no século XIV, Nicole d’Oresme, capelão de Carlos V, da França, declarou abertamente que a idéia de um universo centrado na Terra ainda não tinha sido provada completamente, ainda que não chegasse a dizer que acreditava estar errada. E, na Alemanha do século XV, o cardeal Nicolau de Cusa sugeriu que a Terra não era o centro do universo, mas evitou sugerir que o Sol ocupasse o trono vago.

O mundo teria que esperar até o século XVI antes que um astrônomo tivesse a coragem de reartumar o universo e desafiar seriamente a cosmologia dos gregos. O homem que acabaria por reinventar o universo centrado no Sol, de Aristarco, foi batizado Mikolaj Kopernik, mas é mais conhecido pela forma de Nicolau Copérnico.

A Revolução

Nascido em 1473, em uma próspera família de Torun, às margens do Vistula, na atual Polônia, Copérnico foi nomeado cônego da catedral de Frauenburgo, principalmente devido à influência de seu tio Lucas, que era bispo de Ermland. Tendo estudado direito e medicina na Itália, sua tarefa principal como cône- go era agir como médico e secretário de Lucas. Essas não eram responsabilida- des que exigissem muito de seu tempo, e Copérnico ficava livre para se dedicar a várias atividades. Tornou-se um especialista em economia e conse- lheiro na reforma monetária e até mesmo publicou suas próprias traduções para o latim do obscuro poeta grego Teófilactus Simocates.

Entretanto, a grande paixão de Copérnico era a astronomia, que o inte-

ressava desde que comprara um exemplar das *Tabelas alfonsinas* quando era estudante. Esse astrônomo amador logo estaria cada vez mais obcecado com o estudo dos movimentos dos planetas e suas idéias acabariam por torná-lo uma das figuras mais importantes da história da ciência.

Surpreendentemente, toda a pesquisa astronômica de Copérnico está contida em uma publicação e meia. E, o que é mais curioso, esse livro e meio quase não foi lido durante sua vida. O meio se refere ao seu primeiro trabalho, o *Commentariolus* (“Pequeno Comentário”), escrito à mão e nunca publicado. Ele circulou entre poucas pessoas por volta de 1514. Não obstante, em apenas vinte páginas, Copérnico sacudia o cosmos com a idéia mais radical a aparecer na astronomia no curso de mil anos. No âmago de seu folheto estavam sete axiomas sobre os quais ele baseara sua visão do universo:

1. Os corpos celestes não compartilham de um centro comum.
2. O centro da Terra não é o centro do universo.
3. O centro do universo fica perto do Sol.
4. A distância da Terra ao Sol é insignificante comparada com a distância até as estrelas.
5. O movimento diário aparente das estrelas é o resultado da rotação da Terra em torno de seu eixo.
6. A sequência anual aparente de movimentos do Sol é o resultado de uma revolução da Terra em torno dele. Todos os planetas giram em torno do Sol.
7. O movimento retrógrado aparente de alguns dos planetas é apenas o resultado de nossa posição como observadores em uma Terra móvel.

Os axiomas de Copérnico eram notáveis em todos os aspectos. A Terra gira, a Terra e os outros planetas se movem em torno do Sol, isso explica as órbitas planetárias retrógradadas, a incapacidade de qualquer paralaxe estelar é devida à grande distância das estrelas. Não está claro o que levou Copérnico a formular esses axiomas, rompendo com a visão tradicional do mundo, mas talvez ele tenha sido influenciado por um de seus professores na Itália, Domenico Maria de Novara. Novara era receptivo à tradição pitagórica, que estava nas raízes da filosofia de Aristarco. E fora Aristarco o primeiro a propor o modelo centrado no Sol, 1.700 anos antes.

O *Commentariolus* era um tratado, uma expressão da frustração com a complexidade do antigo modo de fazer, da natureza improvisada do modo de ensinar. “É como se um artista produzisse suas imagens a partir de modelos, de uma moldura moldada, mas pertencente a correntes diferentes. umas às outras, o resultado seria uma obra morta”, escreve o texto. No entanto, apesar de seu conteúdo racional, o tratado intelectualista europeu, em parte influenciado parcialmente porque seu autor era alemão, estava na fronteira da Europa.

Copérnico não ficou desanimado com os esforços para transformar a astronomia em uma ciência em 1512 (possivelmente enviado para a prisão) e descreveram como “o diabo e o inferno” e ainda para se dedicar aos estudos. Ele montou um pequeno observatório e desenvolveu argumentos, acrescentando to *Commetariolus*.

Copérnico passou os trinta anos de sua vida escrevendo o *De revolutionibus* e expandindo-o a 267 páginas. Durante esse período ele estava preocupado em relação ao seu modelo do universo, que não seria aceita. Houve muitos dias em que ele não conseguiu doar seus planos de publicar. Além disso, ele suspeitava de que os astrônomos com o que considerariam uma

Ele estava certo em se pre
sua intolerância ao processar
parte da geração de dissident
acusou Bruno de oito heresias
quais eram. Os historiadores e

plar das *Tabulas alfonsinas* quando era go estaria cada vez mais obcecado com is e suas idéias acabariam por torná-lo história da ciência.

quiza astronômica de Copérnico está o que é mais curioso, esse livro e meio) meio se refere ao seu primeiro trab- "comentário"), escrito à mão e nunca ssos por volta de 1514. Não obstante, acudia o cosmos com a idéia mais radi- de mil anos. No âmagio de seu folheto le baseara sua visão do universo:

de um centro comum.

do universo.

o Sol.

gnificante comparada com a distância

s estrelas é o resultado da rotação da

movimentos do Sol é o resultado de

to dele. Todos os planetas giram em

te de alguns dos planetas é apenas o

observadores em uma Terra móvel.

eis em todos os aspectos. A Terra gira, em torno do Sol, isso explica as órbi- idade de qualquer paralaxe estelar é Não está claro o que levou Copérnico om a visão tradicional do mundo, mas or um de seus professores na Itália, a era receptivo à tradição pitagórica, ristarco. E fora Aristarco o primeiro a 700 anos antes.

O *Commentariolus* era um manifesto em prol de um motim astronômi- co, uma expressão da frustração de Copérnico e de sua desilusão com a feia complexidade do antigo modelo ptolomaico. Mais tarde, ele condenaria a natureza improvizada do modelo centrado na Terra nos seguintes termos: "E como se um artista produzisse as mãos, pés, cabeça e outros membros de suas imagens a partir de modelos diversos, cada parte perfeitamente dese- nhada, mas pertencente a corpos diferentes, e, como elas não correspondem umas às outras, o resultado seria um monstro e não um homem." Entretan- to, apesar de seu conteúdo radical, o folheto não provocou reações entre os intelectuais europeus, em parte por ter sido lido por tão poucas pessoas, e parcialmente porque seu autor era um cônego sem importância, que traba- lhava nas fronteiras da Europa.

Copérnico não ficou desapontado, já que este era apenas o início de seus esforços para transformar a astronomia. Depois que seu tio Lucas morreu, em 1512 (possivelmente envenenado, pelos Cavaleiros Teutônicos, que o descreveram como "o diabo em forma humana"), ele ficou com mais tempo ainda para se dedicar aos estudos. Mudou-se para o castelo de Frauenburg, montou um pequeno observatório e concentrou-se na tarefa de reforçar seus argumentos, acrescentando todos os detalhes matemáticos que faltavam no *Commentariolus*.

Copérnico passou os trinta anos seguintes reescrevendo o seu *Com- mentariolus* e expandindo-o até transformá-lo num manuscrito de duzentas páginas. Durante esse prolongado período de pesquisas, passou muito tem- po preocupado em relação ao modo como os outros astrônomos reagiriam ao seu modelo do universo, que era fundamentalmente contrário à sabedo- ria aceita. Houve muitos dias em que até considerou a possibilidade de aban- donar seus planos de publicar o trabalho com medo de ser ridicularizado. Além disso, ele suspeitava de que os teólogos seriam totalmente intolerantes com o que considerariam uma especulação científica sacrílega.

Ele estava certo em se preocupar. Posteriormente a Igreja demonstrou sua intolerância ao processar o filósofo italiano Giordano Bruno, que fazia parte da geração de dissidentes que se seguiu a Copérnico. A Inquisição acusou Bruno de oito heresias, mas os registros existentes não especificam quais eram. Os historiadores acham provável que Bruno tenha ofendido a

Igreja ao escrever *Do universo infinito e seus mundos*, em que afirmava que o universo é infinito, que as estrelas têm seus próprios planetas e que a vida se desenvolve nesses planetas. Quando condenado à morte por seus crimes ele respondeu: “Possivelmente vocês, que pronunciam a minha sentença, sentem mais medo do que eu, que a recebo”. No dia 17 de fevereiro de 1600, ele foi levado para o Campo dei Fiori em Roma, despido, amarrado nu a uma estaca, amordaçado e então queimado vivo.

O medo que Copérnico tinha de ser perseguido poderia ter levado a um fim prematuro de suas pesquisas, mas felizmente um jovem estudioso alemão da cidade de Wittenberg entrou em ação. Em 1539, Georg Joachin von Lauchen, conhecido como Rético, viajou até Frauenburgo para se encontrar com Copérnico e aprender mais sobre seu modelo cosmológico. Foi um ato audacioso porque não apenas o jovem acadêmico luterano enfrentava uma recepção hesitante na católica Frauenburgo, mas seus próprios colegas não viam sua missão com bons olhos. O sentimento geral é exemplificado por Martinho Lutero, que deixou o registro de uma conversa na mesa de jantar a respeito de Copérnico: “Fala-se de um novo astrônomo que deseja provar que a Terra se move e gira no lugar do céu, do Sol e da Lua, exatamente como alguém se movendo em uma carruagem ou num navio pode imaginar que está imóvel enquanto o solo e as árvores se deslocam e se movem...O tolo quer virar de cabeça para baixo toda a arte da astronomia”.

Lutero chamou Copérnico de “um tolo que vai contra a Sagrada Escritura”, mas Rético compartilhava da inabalável confiança de Copérnico de que o caminho para a verdade celestial estava na ciência e não nas escrituras. Com 66 anos de idade, Copérnico ficou lisonjeado pelo interesse do rapaz de 25 anos, que passou três anos em Frauenburgo lendo o manuscrito de Copérnico, e fornecendo-lhe apoio e comentários.

Em 1541, a combinação de diplomacia e talento astronômico de Rético foi suficiente para que ele conseguisse a aprovação de Copérnico para levar o manuscrito até a gráfica de Johannes Petreius, em Nuremberg, para ser impresso e publicado. Ele tinha planejado ficar lá para supervisionar todo o processo de impressão, mas repentinamente foi chamado a Leipzig para cuidar de um assunto urgente e assim passou a responsabilidade de supervisionar a publicação a um clérigo chamado Andreas Osiander. Finalmente, na

primavera de 1543, o *De revolutionibus* (das esferas celestes) foi finalmente enviado a Copérnico.

Nesse meio-tempo, Copérnico estava na final de 1542 e estava na cidade para ver terminado o livro. As cópias de seu tratado chegaram e uma carta para Rético descrevendo o livro. Ele ficou privado de sua publicação no último momento.

Copérnico tinha completado um argumento convincente para Aristarco. O *De revolutionibus* minar seu conteúdo é impossível. A publicação. O primeiro dele de Copérnico. A introdução como o papa Paulo III, o cardeal não há nenhuma menção a ele. O papel vital de parteira no livro não sabem por que se dar crédito a um protestante luterano a quem Copérnico quer de reconhecimento foi que ele não nenhuma ligação com o *De revolutionibus*.

O segundo mistério envia acrescentado ao livro sem o que retirava a substância de sua ciência o resto do livro ao afirmar ser verdadeiras ou mesmo produzidos no modelo centrado no Sol. A matemática, cuidadosamente uma ficção. O prefácio admitiu as observações em um grande emasculada ao afirmar que se

primavera de 1543, o *De revolutionibus orbium coelestium* (Das revoluções das esferas celestes) foi finalmente publicado, e várias centenas de exemplares foram enviadas a Copérnico.

Nesse meio-tempo, Copérnico tinha sofrido uma hemorragia cerebral no final de 1542 e estava na cama, lutando para se manter vivo tempo suficiente para ver terminado o livro contendo o trabalho de sua vida. Exemplos de seu tratado chegaram bem a tempo. Seu amigo Canon Giese escreveu uma carta para Rético descrevendo a situação de Copérnico: "Por muitos dias ele ficou privado de sua memória e de seu vigor; e só viu seu livro terminado no último momento, no dia em que morreu".

Copérnico tinha completado o seu trabalho. Seu livro oferecia ao mundo um argumento convincente a favor do modelo centrado no Sol de Aristarco. O *De revolutionibus* era um tratado formidável, mas antes de examinar seu conteúdo é importante abordar dois mistérios que cercam sua publicação. O primeiro deles diz respeito aos agradecimentos incompletos de Copérnico. A introdução do *De revolutionibus* menciona várias pessoas, como o papa Paulo III, o cardeal de Cápua e o bispo de Kulm, e no entanto não há nenhuma menção a Rético, o brilhante aprendiz que desempenhara o papel vital de parteira no nascimento do modelo copernicano. Os historiadores não sabem por que seu nome foi omitido e só podem especular que dar crédito a um protestante poderia ter sido malvisto pela hierarquia católica a quem Copérnico queria impressionar. Uma consequência dessa falta de reconhecimento foi que Rético se sentiu desprezado e não quis mais ter nenhuma ligação com o *De revolutionibus* depois de sua publicação.

O segundo mistério envolve o prefácio do *De revolutionibus* que foi acrescentado ao livro sem o consentimento de Copérnico e que efetivamente retirava a substância de suas afirmações. Em resumo, o prefácio enfraquecia o resto do livro ao afirmar que as hipóteses de Copérnico "não precisavam ser verdadeiras ou mesmo prováveis". Este enfatizava os "absurdos" contidos no modelo centrado no Sol, insinuando com isso que a detalhada descrição matemática, cuidadosamente enunciada por Copérnico, não passava de uma ficção. O prefácio admite que o sistema copernicano é compatível com as observações em um grau razoável de precisão, mas deixa a teoria emasculada ao afirmar que se trata apenas de um modo conveniente para se

o e seus mundos, em que afirmava que em seus próprios planetas e que a vida o condenado à morte por seus crimes, que pronunciavam a minha sentença, recebo". No dia 17 de fevereiro de 1543, FIORI em Roma, despedido, amarrado e queimado vivo.

ou até Frauenburg para se encontrar seu modelo cosmológico. Foi um ato acadêmico luterano enfrentava uma burgo, mas seus próprios colegas não sentimento geral é exemplificado por ro de uma conversa na mesa de jantar um novo astrônomo que deseja provar do céu, do Sol e da Lua, exatamente tragem ou num navio pode imaginar árvores se deslocam e se movem... O

oda a arte da astronomia".
tolo que vai contra a Sagrada Escritura, alável confiança de Copérnico de que estava na ciência e não nas escrituras. ou lisonjeado pelo interesse do rapaz Frauenburg lendo o manuscrito de comentários.
nacia e talento astronômico de Rético a aprovação de Copérnico para levar es Petreus, em Nuremberg, para ser ado ficar lá para supervisionar todo o nente foi chamado a Leipzig para cuidar a responsabilidade de supervisão- to Andreas Oslander. Finalmente, na

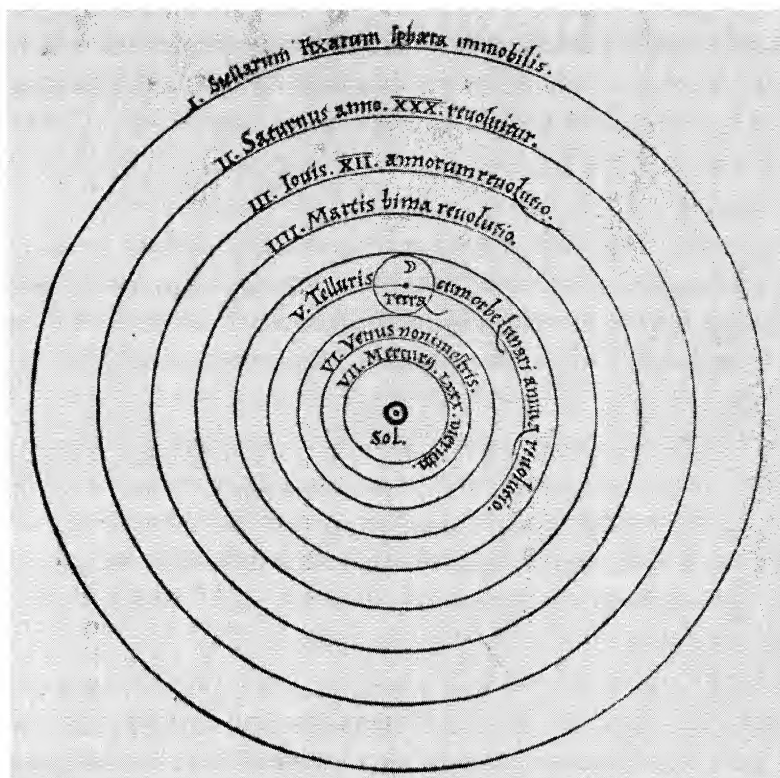


Figura 10 Este diagrama do livro *De revolutionibus*, de Copérnico, ilustra sua visão revolucionária do universo. O Sol está firmemente no eixo e é orbitado pelos planetas. A própria Terra é orbitada pela Lua e está localizada corretamente entre as órbitas de Vênus e Marte.

fazer os cálculos, e não uma tentativa de representar a realidade. O manuscrito original de Copérnico, escrito à mão, ainda existe, assim sabemos que a abertura original era bem diferente do prefácio impresso, que trivializou seu trabalho. O novo prefácio, portanto, deve ter sido inserido depois que Rético deixou Frauenburgo com o manuscrito. Isso significa que Copérnico estava em seu leito de morte quando o leu, e na ocasião o livro já tinha sido impresso e era tarde demais para fazer qualquer mudança. Talvez tenha sido a visão daquele prefácio que o mandou para o túmulo.

Assim, quem escreveu e inseriu o prefácio? O principal suspeito é Osiander, o clérigo que assumiu a responsabilidade pela publicação quando

Rético partiu de Nuremberg. Copérnico seria perseguido e indicou inserir o prefácio com o intuito de acalmar os críticos. Indícios encontrados em uma carta para Rético referindo-se àqueles que acreditavam em "Os aristotélicos e os teólogos" afirmam: "Os aristotélicos e os teólogos afirmam que... a presente hipótese é absurda, mas porque esse é o caso dos movimentos compostos apa-

Mas, em seu prefácio original, Copérnico não assumiu uma postura desafiadora de assumir uma postura desafiadora, mas sim de admitir que, embora totalmente capazes de emitir julgamentos sobre algumas passagens das Escrituras, ele não conseguia encontrar falhas em seu modelo ao ponto de considerar suas

Depois de finalmente reu- mais importante e controverso. Copérnico morreu tragicamente e suas teorias foram consideradas como sendo nada disso, o *De revolutionibus* inserido nas primeiras décadas após sua publicação levaram a sério. A primeira edição apareceu apenas duas vezes no século XVI, sendo o modelo ptolomaico o mais usado no mesmo período.

Contudo, o prefácio covardemente culpado pela falta de sucesso foi o terrível estilo literário das páginas de texto complexo e obscuro sobre astronomia, e o nome Copérnico não foi conhecido pelos acadêmicos europeus. Isso não foi o que Copérnico agora estava r

Rético partiu de Nuremberg para Leipzig. É provável que ele acreditasse que Copérnico seria perseguido se suas idéias viessem a público, e ao que tudo indica inseriu o prefácio com a melhor das intenções, esperando que este acalmasse os críticos. Indícios das preocupações de Osiander podem ser encontrados em uma carta para Rético, na qual ele menciona os aristotélicos, referindo-se àqueles que acreditavam na visão de mundo centrada na Terra. “Os aristotélicos e os teólogos serão facilmente acalmados se forem informados de que... a presente hipótese não foi proposta por ser de fato verdadeira, mas porque esse é o modo mais conveniente para se calcular os movimentos compostos aparentes.”

Mas, em seu prefácio original, Copérnico fora bem claro em seu desejo de assumir uma postura desafiadora contra seus críticos: “É provável que haja tolos que, embora totalmente ignorantes na matemática, se considerem capazes de emitir julgamentos sobre questões matemáticas, distorcendo algumas passagens das Escrituras para servirem a seus propósitos e se atrevendo a encontrar falhas em meu empreendimento e a censurá-lo. Eu os desprezo ao ponto de considerar suas críticas como infundadas”.

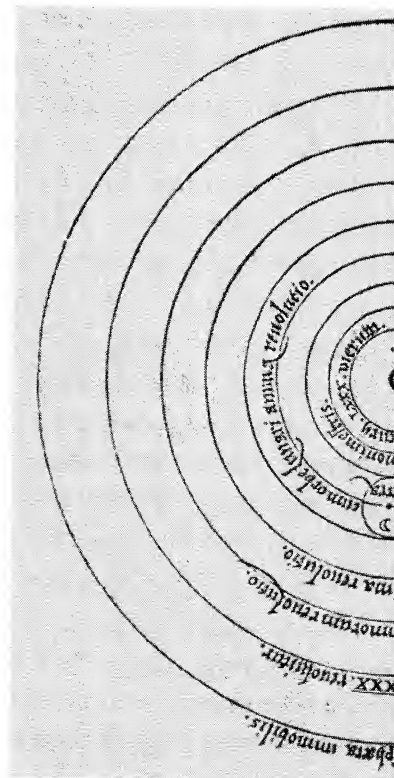
Depois de finalmente reunir a coragem para publicar o desenvolvimento mais importante e controverso da astronomia desde os antigos gregos, Copérnico morreu tragicamente, sabendo que Osiander tinha apresentado suas teorias como sendo nada mais do que um artifício. E, em consequência disso, o *De revolutionibus* iria desaparecer, quase sem deixar vestígios, nas primeiras décadas após sua publicação, já que nem o público nem a Igreja o levaram a sério. A primeira edição não esgotou, e o livro foi reimpresso apenas duas vezes no século seguinte. Em contraste com isso, livros promovendo o modelo ptolomaico foram reimpressos centenas de vezes na Alemanha no mesmo período.

Contudo, o prefácio covarde e conciliatório de Osiander foi apenas parcialmente culpado pela falta de impacto do *De revolutionibus*. Outro fator foi o terrível estilo literário de Copérnico, que resultara em quatrocentas páginas de texto complexo e denso. Pior ainda, esse era o seu primeiro livro sobre astronomia, e o nome Copérnico não era bem conhecido nos círculos acadêmicos europeus. Isso não teria sido desastroso se não fosse o fato de que Copérnico agora estava morto e não poderia promover seu trabalho. A

lutionibus, de Copérnico, ilustra sua visão zmente no eixo e é orbitado pelas planetas. localizada corretamente entre as órbitas de

de representar a realidade. O manuscrito, ainda existe, assim sabemos que do prefácio impresso, que trivializou to, deve ter sido inserido depois que nuscrito. Isso significa que Copérnico leu, e na ocasião o livro já tinha sido qualquer mudança. Talvez tenha sido n para o túmulo.

o prefácio? O principal suspeito é ontabilidade pela publicação quando



situação poderia ter sido salva por Rético, se ele tivesse defendido e divulgado o *De revolutionibus*, mas ele se sentira esnobado e não queria mais ter seu nome associado ao sistema copernicano.

Além disso, exatamente como acontecera na corporificação original do modelo de Aristarco, o *De revolutionibus* foi desprezado porque o sistema copernicano era menos preciso do que o modelo ptolomaico centrado na Terra, quando se tratava de prever as posições futuras dos planetas: e nesse aspecto o modelo basicamente correto não era páreo para seu rival fundamentalmente errado. Há dois motivos para esse estranho resultado. Em primeiro lugar, faltava ao modelo de Copérnico um ingrediente vital, sem o qual as previsões nunca seriam precisas o bastante para ganhar a aceitação. Em segundo lugar, o modelo de Ptolomeu tinha conquistado seu grau de precisão através de manipulações de todos aqueles epiciclos, deferentes, equantes e excêntricos, e quase todo modelo falho pode ser salvo se tais fatores de manipulação forem introduzidos.

E, claro, o modelo copernicano ainda era afetado por todos os problemas que tinham levado ao abandono do modelo centrado no Sol, de Aristarco (ver tabela 2, pp. 41-42). De fato, o único atributo do modelo centrado no Sol que o tornava claramente melhor do que o centrado na Terra ainda era a sua simplicidade. Embora Copérnico tivesse brincado com epiciclos, seu modelo, em essência, empregava uma única órbita circular para cada planeta, enquanto o modelo de Ptolomeu era muito complexo com seus epiciclos, deferentes, equantes e excêntricos precisamente sintonizados para cada planeta.

Felizmente para Copérnico, a simplicidade é uma qualidade valiosa na ciência, como fora exemplificado por William de Occam, um teólogo franciscano inglês do século XIV que ficou famoso durante sua vida por defender que as ordens religiosas não deveriam ter riquezas ou propriedades. Ele defendeu seus pontos de vista com tamanho fervor que foi expulso da Universidade de Oxford e teve que se mudar para Avignon, no sul da França, de onde acusou o papa João XII de heresia. Não nos surpreende que tenha sido excomungado. Depois de sucumbir à Peste Negra, de 1349, Occam ficou famoso postumamente por seu legado à ciência, conhecido como a navalha de Occam. Ele diz que, se existirem duas teorias rivais, ou explica-

ções de igual valor, a mais simples é a que deve servir. O que Occam enunciou corretamente é: “pluralidade não deve ser postulada sem necessidade” (“pluralidade não deve ser postulada sem necessidade”).

Imagine, por exemplo, que você esteja tentando explicar a queda de duas árvores. Você vê duas árvores caídas no chão. Uma delas caiu de cabeça para baixo, e a outra de lado. Você sabe que as árvores foram derrubadas por um raio. Você decide que a explicação mais simples é a de que dois meteoritos caíram no local, um em cada árvore, e que cada um deles ricocheteou para cima e colidiu com a árvore, causando a queda. Isso explica a falta de qualquer direção preferida para a queda. Occam, você decide que a explicação mais simples é a de que os meteoritos caíram no local, e que os meteoritos não garantem a resposta. Os médicos freqüentemente diagnosticando uma doença, dizem: “Quando ouvir zebra”. Por outro lado, os teólogos de Occam, rejeitando uma explicação mais enigmática e complexa.

A navalha de Occam favorece a simplicidade (uma única órbita circular para cada planeta) em detrimento do modelo ptolomaico (muitas órbitas excêntricas para cada planeta). Se duas teorias forem igualmente capazes de explicar os dados, a mais simples é a que deve servir. Sendo que ele fazia previsões precisas, a simplicidade do modelo copernicano era claramente superior.

E, para muitas pessoas, o modelo copernicano era cal até para ser contemplado. Foi dado um novo significado para a palavra “revolução”, afirmando que a palavra “revolução” é simplesmente contrária à sabedoria convencional. Copérnico *Sobre as revoluções das esferas celestes*, o modelo centrado no

ético, se ele tivesse defendido e divulgado a teoria esnobada e não queria mais ter seu nome. Entretanto, a corporificação original do *mundus* foi desprezada porque o sistema heliocêntrico foi desvalorizado na época das futuras posições para seu rival fundamente para esse estranho resultado. Em princípio, o heliocêntrico um ingrediente vital, sem o qual não bastaria para ganhar a aceitação. O heliocêntrico tinha conquistado seu grau de sucesso e todos aqueles epíscopos, deferentes, o modelo falho pode ser salvo se tais usados. Ainda era afetado por todos os problemas do modelo centrado no Sol, de fato, o único atributo do modelo heliocêntrico melhor do que o centrado na Terra. Embora Copérnico tivesse brincado com a ideia, empregava uma única órbita circular, o modelo de Ptolomeu era muito comum, equantes e excêntricos precisamente aplicados a uma qualidade valiosa na época de William de Occam, um teólogo e ficou famoso durante sua vida por o deveriam ter riquezas ou propriedades com tamanho fervor que foi expulso de sua ordem para Avignon, no sul da França de heresia. Não nos surpreende que a obra de Occam, de 1349, *Occam's razor*, conhecido como a "navalha de Occam", seja considerada uma das mais importantes da ciência, ou explicam

ções de igual valor, a mais simples é a que tem mais chances de ser a correta. O que Occam enunciou como *pluralitas non est ponenda sine necessitate* ("pluralidade não deve ser proposta sem necessidade"). Imagine, por exemplo, que depois de uma noite tempestuosa você encontra duas árvores caídas no meio de um campo, e não existe indício óbvio de que causou a queda. A hipótese mais simples, nesse caso, é a de que as árvores foram derrubadas pela tempestade. Uma hipótese mais complexa pode ser a de que dois meteoritos chegaram do mesmo tempo do espaço cósmico, cada um deles ricocheteando depois de derrubar uma das árvores para em seguida colidirem frontalmente. A colisão os teria vaporizado, o que explica a falta de qualquer evidência material. Ao aplicar a navalha de Occam, você decide que a hipótese da tempestade é uma explicação mais provável do que os meteoritos gêmeos, por ser a mais simples. A navalha de Occam não garante a resposta certa, mas geralmente aponta na direção dela. Os médicos frequentemente se baseiam na navalha de Occam quando estão diagnosticando uma doença, e os estudantes de medicina recebem o conselho que diz: "Quando ouvir o som de cascos, pense em cavalos, não em zebbras". Por outro lado, os teóricos das conspirações desprezam a navalha de Occam, rejeitando uma explicação simples em favor de uma linha de raciocínio mais enigmática e intrigante. A navalha de Occam favorecia o modelo copernicano (um círculo por planeta) em detrimento do geocêntrico (um epíscopo, deferente, equante e excêntrico para cada planeta), mas a navalha de Occam só é decisiva se as duas teorias forem igualmente bem-sucedidas e, no século XVI, o modelo geocêntrico era claramente mais forte em vários aspectos, o mais notável sendo que ele fazia previsões mais precisas das posições dos planetas. Assim, a simplicidade do modelo centrado no Sol era considerada irrelevante. E, para muitas pessoas, o modelo centrado no Sol ainda era muito radical até para ser contemplado, tanto que o trabalho de Copérnico pode ter dado um novo significado para uma velha palavra. Uma teoria etimológica afirma que a palavra "revolucionário", quando se refere a uma ideia totalmente contrária à sabedoria convencional, foi inspirada no título do livro de Copérnico *Sobre as revoluções das esferas celestes*. E, assim como a revolução, o modelo centrado no Sol era considerado também completamente

impossível. É por isso que a palavra *köpperneksch* — baseada na forma alemã do nome Copérnico — tem sido usada, no norte da Bavária, para descrever uma proposta ilógica e inacreditável.

Em resumo, o modelo de um universo centrado no Sol era uma idéia adiante de seu tempo, muito revolucionária, muito inacreditável e ainda muito imprecisa para conseguir um amplo apoio. O *De revolutionibus* ficou repousando em algumas estantes, em alguns poucos gabinetes e foi lido por poucos astrônomos. A idéia do universo centrado no Sol fora primeiramente sugerida por Aristarco, no quinto século a.C., mas fora ignorada. Agora tinha sido reinventada por Copérnico e novamente ignorada. O modelo entrou em hibernação, esperando que alguém o ressuscitasse, examinasse, aperfeiçoasse e encontrasse o ingrediente perdido que provaria ao resto do mundo que o modelo copernicano era a verdadeira imagem da realidade. De fato, isso seria deixado para a geração seguinte de astrônomos, que encontraria as evidências para mostrar que Ptolomeu estava errado e Aristarco e Copérnico estavam certos.

O castelo dos céus

Nascido em meio à nobreza da Dinamarca, em 1546, Tycho Brahe ganharia fama duradoura entre os astrônomos por dois motivos. Primeiro, em 1566, Tycho envolveu-se em uma briga com seu primo Manderup Parsberg, possivelmente porque Parsberg o tinha insultado e zombara dele devido ao fracasso total de uma recente previsão astrológica. Tycho previra a morte de Suleiman, o Grande, e até mesmo envolvera sua profecia num poema em latim, sem saber que o líder otomano já estava morto havia seis meses. A discussão terminou num famoso duelo. Durante a luta de espada, um golpe de Parsberg cortara a testa de Tycho e dividira ao meio o seu nariz. Se o corte fosse uma polegada mais profundo, Tycho teria morrido. A partir de então, ele passou a colar no rosto um falso nariz de metal, feito tão habilmente de uma liga de cobre, prata e ouro que se confundia com o seu tom de pele.

O segundo motivo, o mais importante para a fama de Tycho, foi que ele elevou a astronomia observacional a um nível inteiramente novo de preci-

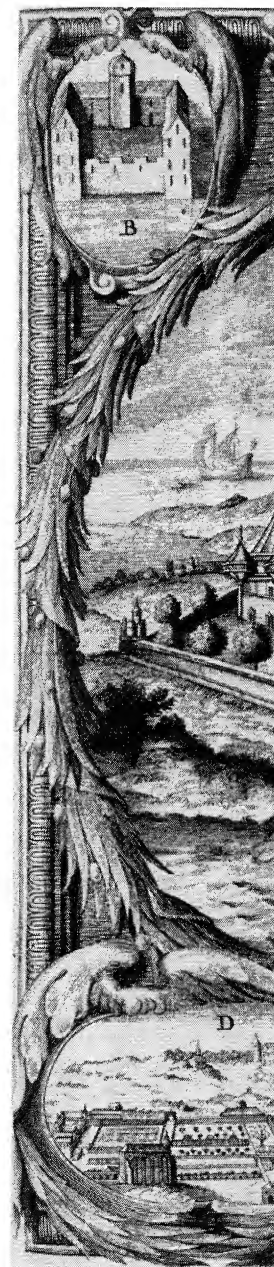


Figura 11 Uraniborg, na ilha de Hven, a mais hedonista da história.

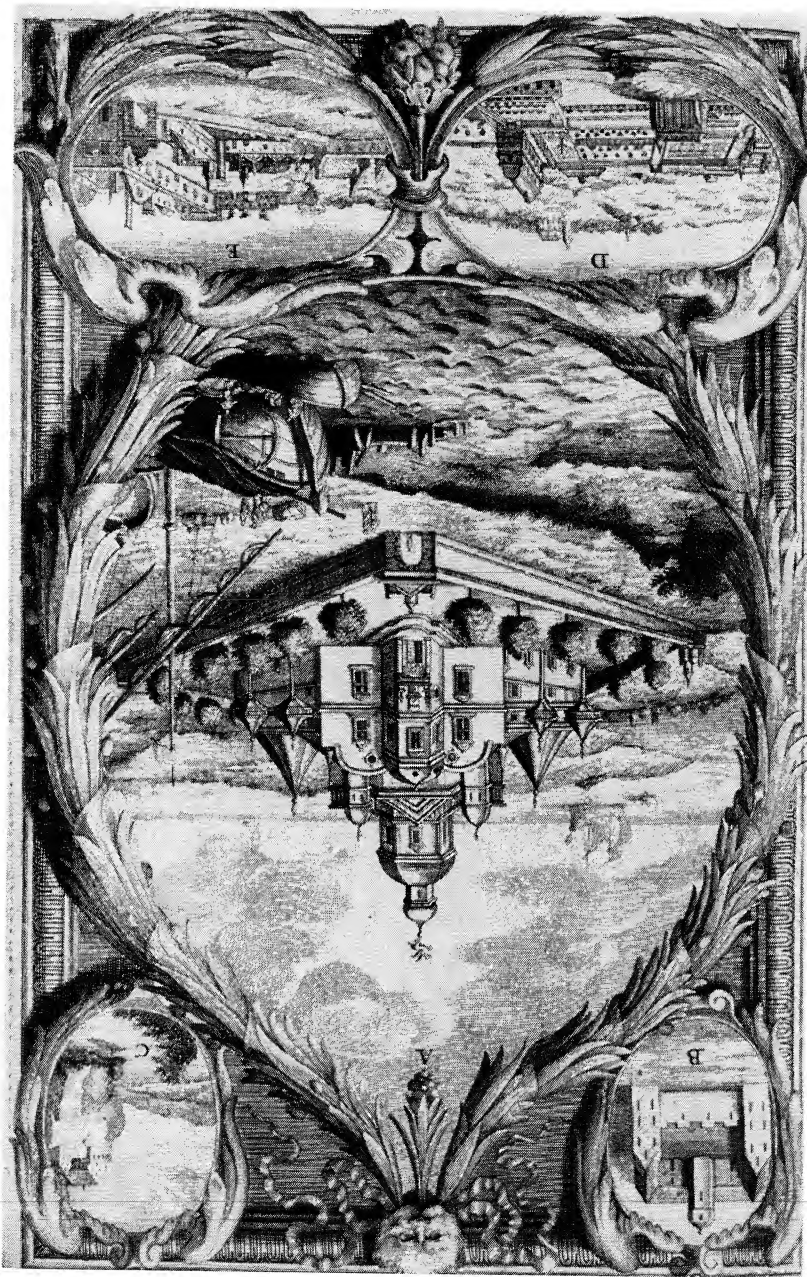


Figura 11 Uraniborg, na ilha de Hven, o observatório astronômico mais bem financiado e mais hedonista da história.

dos céus

ne Ptolomeu estava errado e Aristarco
 ação seguinte de astrônomos, que en-
 ra a verdadeira imagem da realidade.
 nte perdido que provaria ao resto do
 e alguém o ressuscitasse, examinasse,
 o e novamente ignorada. O modelo
 século a.C., mas fora ignorada. Agora
 so centrado no Sol fora primeiramen-
 alguns poucos gabinetes e foi lido por
 nplio apoio. O *De revolutionibus* ficou
 cionária, muito inacreditável e ainda
 iverso centrado no Sol era uma idéia
 vel.
 sada, no norte da Bavária, para descree-
 köpperneksch — baseada na forma ale-

marca, em 1546, Tycho Brahe ganharia
 por dois motivos. Primeiro, em 1566,
 seu primo Manderup Parsberg, possi-
 ultado e zombara dele devido ao fra-
 astrológica. Tycho previra a morte de
 volvera sua profecia num poema em
 já estava morto havia seis meses. A
 . Durante a luta de espada, um golpe
 dividira ao meio o seu nariz. Se o corte
 rcho teria morrido. A partir de então,
 ariz de metal, feito tão habilmente de
 confundia com o seu tom de pele.
 ante para a fama de Tycho, foi que ele
 um nível inteiramente novo de preci-

são. Conquistou tamanha reputação que o rei Frederico II, da Dinamarca, deu a Tycho a ilha de Hven, a dez quilômetros da costa da Dinamarca, e pagou para que ele lá construísse um observatório. Uraniborg (Castelo dos Céus) iria crescer ao longo dos anos até se transformar numa enorme cidadela decorada que consumiria mais de 5% do produto nacional bruto dinamarquês, um recorde mundial para todas as épocas no que diz respeito a financiamento de um centro de pesquisas.

Uraniborg abrigava uma biblioteca, uma fábrica de papel, uma gráfica, um laboratório de alquimia, uma fornalha e uma prisão para servos rebeldes.

As torretas de observação continham enormes instrumentos como sextantes, quadrantes e esferas armilares (todos instrumentos para observação a olho nu, já que os astrônomos ainda não tinham aprendido a explorar o potencial das lentes). Existiam quatro conjuntos de cada um dos instrumentos para medidas simultâneas e independentes, o que minimizava os erros quando se tomavam as posições angulares de estrelas e planetas. As observações de Tycho eram geralmente precisas até 1/30 de grau, cinco vezes melhores que as observações anteriores mais precisas. Talvez a precisão de Tycho fosse ajudada por sua capacidade de remover o nariz para alinhar os olhos com mais perfeição.

A reputação de Tycho era tão grande que um fluxo contínuo de personalidades visitava seu observatório. Além de estarem interessados em suas pesquisas, esses visitantes também eram atraídos pelas festas loucas de Uraniborg, que ficaram famosas em toda a Europa. Tycho fornecia bebida em excesso e entretenimento na forma de estátuas mecânicas e um anão contador de histórias chamado Jepp, que diziam ser um vidente com um dom especial. E, para aumentar o espetáculo, o alce de estimação de Tycho andava livremente pelo castelo, mas morreu tragicamente depois de cair por uma escadaria depois de um excesso de álcool. Uraniborg parecia mais o cenário de um filme do Peter Greenaway do que um instituto de pesquisa.

Embora Tycho tivesse sido educado na tradição da astronomia ptolomaica, suas observações meticulosas o forçaram a rever sua confiança na antiga visão do universo. De fato nós sabemos que ele tinha um exemplar do *De revolutionibus* em seu gabinete e que simpatizava com as idéias de Copérnico,

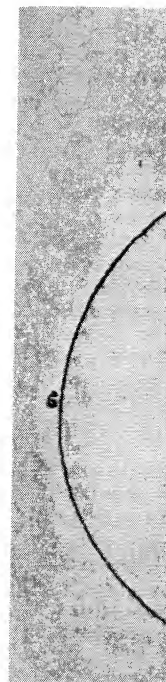


Figura 12 O modelo de Tycho do centro do Universo, sendo orbiter que os planetas (e o cometa *mundi aetherei*, de Tycho.

mas, em lugar de adotá-las ao universo, que, sem correr Copérnico. Em 1588, quando Tycho publicou *De mundi* dos novos fenômenos no qual planetas orbitavam o Sol,

que o rei Frederico II, da Dinamarca, observatório. Uraniborg (Castelo dos até se transformar numa enorme cidade 5% do produto nacional bruto dinas todas as épocas no que diz respeito a uisas. ca, uma fábrica de papel, uma gráfica, uma prisão para servos tinham enormes instrumentos como are (todos instrumentos para observar ainda não tinham aprendido a explorar tro conjuntos de cada um dos instrumentos, o que minimizava os erros angulares de estrelas e planetas. As tre precisas até 1/30 de grau, cinco vezes maiores mais precisas. Talvez a precisão idade de remover o nariz para alinhar ide que um fluxo contínuo de personagens de estarem interessados em suas pes-raídos pelas festas loucas de Uraniborg, ra. Tycho fornecia bebida em excesso e mecânicas e um anão contador de hisum vidente com um dom especial. E, a estimulação de Tycho andava livremente depois de cair por uma escadaria Uraniborg parecia mais o cenário de um instituto de pesquisa.

na tradição da astronomia ptolomaica, aram a rever sua confiança na antiga nos que ele tinha um exemplar do *De* impatizava com as idéias de Copérnico,

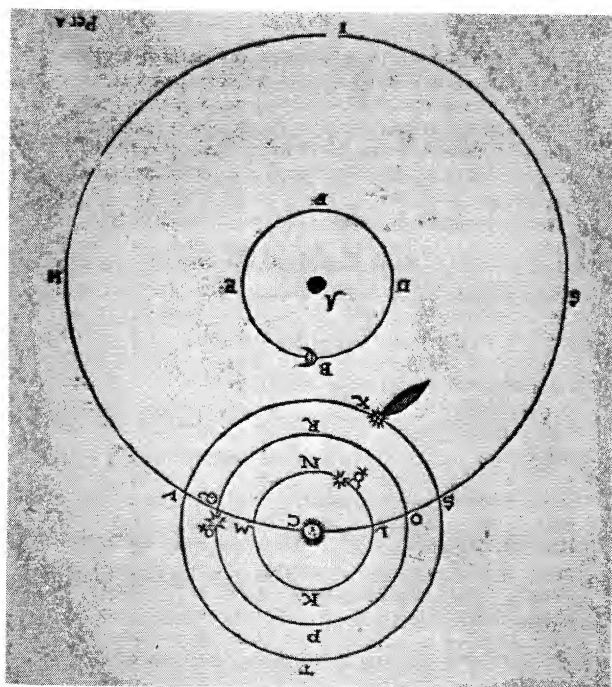


Figura 12 O modelo de Tycho comete o mesmo erro de Ptolomeu e coloca a Terra no centro do Universo, sendo orbitada pela Lua e pelo Sol. Seu principal avanço foi perceber que os planetas (e o cometa flamejante) orbitam o sol. Esta ilustração é do livro *De mundi aetherei*, de Tycho.

mas, em lugar de adotá-las, ele preferiu desenvolver seu próprio modelo do universo, que, sem correr riscos, ficava a meio caminho entre Ptolomeu e Copérnico. Em 1588, quase cinquenta anos depois da morte de Copérnico, Tycho publicou *De mundi aetherei recentioribus phoenomenis* ("A respeito dos novos fenômenos no mundo etéreo"), no qual afirmava que todos os planetas orbitavam o Sol, mas o Sol orbitava a Terra, como mostrado na

figura 12. Seu liberalismo ia ao ponto de permitir que o Sol fosse o eixo do sistema de planetas, mas seu conservadorismo o obrigava a reter a Terra no centro do universo. Ele estava relutante em deslocar a Terra porque sua suposta centralidade era o único meio de explicar por que os objetos caem em direção ao centro da Terra.

Antes que Tycho pudesse prosseguir para o estágio seguinte de seu programa de observações astronômicas e teorização, suas pesquisas sofreram um severo golpe. Seu patrono, o rei Frederico, morreu depois de uma bebedeira no mesmo ano em que Tycho publicou *De mundi aetherei* e o novo rei, Cristiano IV, não estava mais disposto a financiar o extravagante observatório de Tycho ou a tolerar seu estilo de vida hedônico. Tycho não teve outra opção senão abandonar Uraniborg e deixar a Dinamarca com sua família, seus assistentes, o anão Jepp e carroças cheias de instrumentos astronômicos. Felizmente, os instrumentos de Tycho tinham sido projetados para serem transportáveis, porque ele percebera astutamente que “um astrônomo deve ser cosmopolita, já que não se pode esperar que os governantes ignorantes valorizem seus serviços”.

Tycho Brahe emigrou para Praga, onde o imperador Rodolfo II o nomeou matemático imperial e permitiu que estabelecesse um novo observatório no Castelo Benatky. A mudança acabou tendo um significado especial, porque foi em Praga que Tycho se associou a um novo assistente, Johannes Kepler, que chegaria à cidade alguns meses depois. O luterano Kepler tinha sido forçado a fugir de seu antigo lar em Graz, quando o arquiduque Ferdinando, um católico fervoroso, ameaçou executá-lo, de acordo com seu discurso de que preferiria “transformar o país num deserto a governar hereges”.

E assim Kepler partiu em sua jornada para Praga no dia 1º de janeiro de 1600. O início do novo século marcaria o começo de uma colaboração que levaria à reinvenção do universo. Juntos, Tycho e Kepler formavam uma dupla perfeita. O avanço científico exige tanto a observação como a teoria. Tycho tinha acumulado a melhor coleção de observações da história da astronomia e Kepler se mostraria um excelente intérprete dessas observações. Embora Kepler sofresse de miopia e de visão múltipla desde o nascimento, ele acabaria por enxergar mais longe do que Tycho.

Foi uma parceria formada de Kepler, Tycho foi a bebeu com o excesso costumar a mesa antes do barão sentia a tensão em sua be Quando chegou em casa, a ter febre e alternar entre depois estava morto.

Em seu leito de morte, tenha vivido em vão”. Não ria que as observações me possível que a morte de Ty porque, enquanto estava v anotações e nunca partilha car uma obra-prima sozinho parceiro igual — afinal, e mero camponês. E, no entanto um significado mais pr queria as habilidades de ur

Kepler nascera em uma tornos provocados pela guerra que fora exilada após acusasse a infância e juventude estima. Em seu próprio h pessoa, ele se descreve com

Ele gosta de roer ossos e põe seus olhos ele agarra, e se contenta com a comida outros, depende dos outros quando eles o repreendem graças... Como um cachorro descuido não conhece limites em quadratura com Mercúrio

Foi uma parceria formada bem a tempo. Alguns meses depois da chegada de Kepler, Tycho foi a um jantar oferecido pelo barão de Rosenberg e bebeu com o excesso costumeiro, recusando-se a quebrar a etiqueta e deixar a mesa antes do barão. Kepler escreveu: "Quanto mais ele bebia, mais sentia a tensão em sua bexiga, mas colocou a educação acima da saúde. Quando chegou em casa, mal conseguia urinar". Naquela noite ele passou a ter febre e alternar entre períodos de inconsciência e delírio. Dez dias depois estava morto.

Em seu leito de morte, Tycho repetiu várias vezes a frase: "Que eu não tenha vivido em vão". Não havia motivo para temer porque Kepler garantia que as observações meticulosas de Tycho dessem frutos. De fato é bem possível que a morte de Tycho fosse necessária para seu trabalho florescer porque, enquanto estava vivo, ele guardava cuidadosamente seus livros de anotações e nunca partilhava suas observações, sonhando sempre em publicar uma obra-prima sozinho. Tycho nunca cogitou adotar Kepler como um parceiro igual — afinal, ele era um aristocrata dinamarquês e Kepler um mero camponês. E, no entanto, estava além da capacidade de Tycho enxergar um significado mais profundo em suas próprias observações, o que requeria as habilidades de um matemático treinado como Kepler.

Kepler nasceu em uma família pobre que lutara para sobreviver aos transtornos provocados pela guerra, lutas religiosas, um pai criminoso e uma mãe que fora exilada após acusações de bruxaria. Não é surpreendente que passasse a infância e juventude com hipococondria e inseguro, com pouca autoestima. Em seu próprio horóscopo autodepreciativo, escrito na terceira pessoa, ele se descreve como um cachorrinho:

Ele gosta de roer ossos e cascas secas de pão e é tão voraz que tudo em que põe seus olhos ele agarra, e, no entanto, como um cachorro ele bebe pouco e se contenta com a comida mais simples... Continuamente busca os favores de outros, depende dos outros para tudo, faz suas vontades, nunca fica zangado quando eles o reprimem e está sempre ansioso para cair de novo em suas graças... Como um cachorro ele tem horror a banhos, tinturas e loções. Seu descuido não conhece limites, o que se deve certamente à posição de Marte em quadratura com Mercúrio e em triade com a Lua.

o de permitir que o Sol fosse o eixo do adormismo o obrigava a reter a Terra no tante em deslocar a Terra porque sua io de explicar por que os objetos caem

fuir para o estágio seguinte de seu pro- e teorização, suas pesquisas sofreram Frederico, morreu depois de uma bebe- publicou *De mundi aetherei* e o novo rei, o a fianciar o extravagante observató- e vida hedônico. Tycho não teve outra : deixar a Dinamarca com sua família, gas cheias de instrumentos astronômicos Tycho tinham sido projetados para se- bbera astutamente que "um astrônomo pode esperar que os governantes igno-

, onde o imperador Rodolfo II o no- i que estabelecesse um novo observató- acabou tendo um significado especial, sociou a um novo assistente, Johannes meses depois. O luterano Kepler tinha lar em Graz, quando o arquiduque meagou executá-lo, de acordo com seu rmar o país num deserto a governar nada para Praga no dia 1º de janeiro de rta o começo de uma colaboração que mto, Tycho e Kepler formavam uma exige tanto a observação como a teoria. eção de observações da história da as- excelente intérprete dessas observações, de visão múltipla desde o nascimento, do que Tycho.

A paixão pela astronomia parece ter sido sua única pausa na autodepreciação. Com a idade de 25 anos, Kepler escreveu o *Mysterium cosmographicum*, o primeiro livro a defender o *De revolutionibus*. A partir daí convenceu-se da veracidade do modelo centrado no Sol e dedicou-se a descobrir o motivo de sua imprecisão. O maior erro estava na previsão da órbita de Marte, um problema que tinha atormentado o assistente de Copérnico, Rético. De acordo com Kepler, Rético ficara tão frustrado com sua incapacidade de resolver o problema de Marte que “apelou, como último recurso, ao seu anjo de guarda, consultando-o como um oráculo. O espírito indelicado agarrou Rético pelos cabelos e alternadamente bateu com sua cabeça no teto e o deixou cair para bater no chão”.

Por fim, tendo acesso às observações de Tycho, Kepler achava que poderia resolver o problema de Marte e remover as imprecisões do modelo centrado no Sol em apenas oito dias. Na verdade, levou oito anos. Vale a pena enfatizar a quantidade de tempo que Kepler passou aperfeiçoando o modelo centrado no Sol: oito anos! Porque o resumo a seguir pode facilmente subestimar sua imensa realização. A solução de Kepler foi o resultado de cálculos árduos e tortuosos que ocuparam novecentas páginas.

Kepler fez sua grande descoberta ao abandonar um dos antigos dogmas, o de que os planetas se moviam em trajetórias que eram círculos ou combinações de círculos. Até mesmo Copérnico tinha se agarrado lealmente a esse dogma circular, e Kepler mostrou que esta era uma das suposições erradas de Copérnico. De fato Kepler afirmou que seu predecessor tinha falhado ao presumir três coisas:

1. Os planetas se movem em círculos perfeitos
2. Os planetas se movem com velocidades constantes
3. O Sol encontra-se no centro dessas órbitas

Embora Copérnico estivesse certo ao declarar que os planetas orbitam o Sol e não a Terra, sua crença nos três pressupostos falsos sabotou suas esperanças de prever os movimentos de Marte e dos outros planetas com um alto grau de precisão. Contudo Kepler teria sucesso onde Copérnico falhara porque ele descartou esses pressupostos, por acreditar que a verdade só pode

vir à tona quando toda a dos de lado. Ele abriu o como ponto de apoio e Gradualmente, um modelo certa as novas equações ma Solar tomou forma, trou que

1. Os planetas se mover
2. A velocidade dos pla
3. O sol não é exatame

Quando percebeu que ti rias, Kepler gritou: “Oh mentos”.

De fato a segunda e surgem da primeira, que guia rápido sobre as elip que isso acontece. Um r daço de barbante sobre u usar um lápis para estica mantendo o barbante est loque o lápis do outro la metade da elipse será tra os pregos estão fixos, ass junto de pontos cuja dis específico.

As posições ocupadas trajetórias elípticas segui num dos focos e não no ocasiões em que um pla como se o planeta tivesse fará o planeta aumentar a velocidade ao se afastar d

declarar que os planetas orbitam o Sol e dos outros planetas com um alto sucesso onde Copérnico falhara por-
por acreditar que a verdade só pode

perfeitos
ades constantes
órbitas

que seu predecessor tinha falhado ao
esta era uma das suposições erradas
nico tinha se agarrado lealmente a esse
ajetórias que eram círculos ou combi-
no abandonar um dos antigos dogmas,
uparam novecentas páginas.

io. A solução de Kepler foi o resultado
Porque o resumo a seguir pode facil-
o que Kepler passou aperfeiçoando o
. Na verdade, levou oito anos. Vale a
remover as imprecisões do modelo
des de Tycho, Kepler achava que pode-

com sua cabeça no teto e o deixou cair
O espírito indelicado agarrou Rético
io último recurso, ao seu anjo de guar-
do com sua incapacidade de resolver o
istente de Copérnico, Rético. De acordo
na previsão da órbita de Marte, um
l e dedicou-se a descobrir o motivo de
tionibus. A partir daí convenceu-se da
teveu o *Mysterium cosmographicum*, o
do sua única pausa na autodepreciação.

vir à tona quando toda a ideologia, os preconceitos e os dogmas são deixa-
dos de lado. Ele abriu os olhos e a mente, usou as observações de Tycho
como ponto de apoio e elaborou seu modelo a partir dos dados de Tycho.
Gradualmente, um modelo imparcial de Universo começou a surgir. E com
certeza as novas equações de Kepler correspondiam às observações e o Siste-
ma Solar tomou forma, afinal. Kepler expôs os erros de Copérnico e mos-
trou que

1. Os planetas se movem em elipses, não em círculos perfeitos.
2. A velocidade dos planetas varia constantemente.
3. O sol não é exatamente o centro dessas órbitas.

Quando percebeu que tinha a solução para o mistério das órbitas planeta-
rias, Kepler gritou: "Oh Deus, Todo-poderoso, estou pensando Teus pensa-
mentos".
De fato a segunda e a terceira afirmações do novo modelo de Kepler
surgem da primeira, que diz que as órbitas planetárias são elípticas. Um
guia rápido sobre as elipses e o modo como são construídas mostra por
que isso acontece. Um modo de se desenhar uma elipse é prender um pe-
dago de barbante sobre uma tábua, como é mostrado na figura 13, e então
usar um lápis para esticar o barbante. Se o lápis for movido pela tábua,
mantendo o barbante esticado, ele vai traçar a metade de uma elipse. Co-
loque o lápis do outro lado do barbante e estique-o novamente, e a outra
metade da elipse será traçada. O comprimento do barbante é constante e
os pregos estão fixos, assim, uma definição possível para elipse é um con-
junto de pontos cuja distância combinada aos dois pregos tem um valor
específico.
As posições ocupadas pelos pregos são chamadas de focos da elipse. As
trajetórias elípticas seguidas pelos planetas são de tal forma que o Sol fica
num dos focos e não no centro das órbitas planetárias. Portanto, haverá
ocasiões em que um planeta estará mais perto do Sol do que em outras,
como se o planeta tivesse caído em direção ao Sol. Esse processo de queda
fará o planeta aumentar a velocidade e, de modo oposto, o planeta perderá
velocidade ao se afastar do Sol.

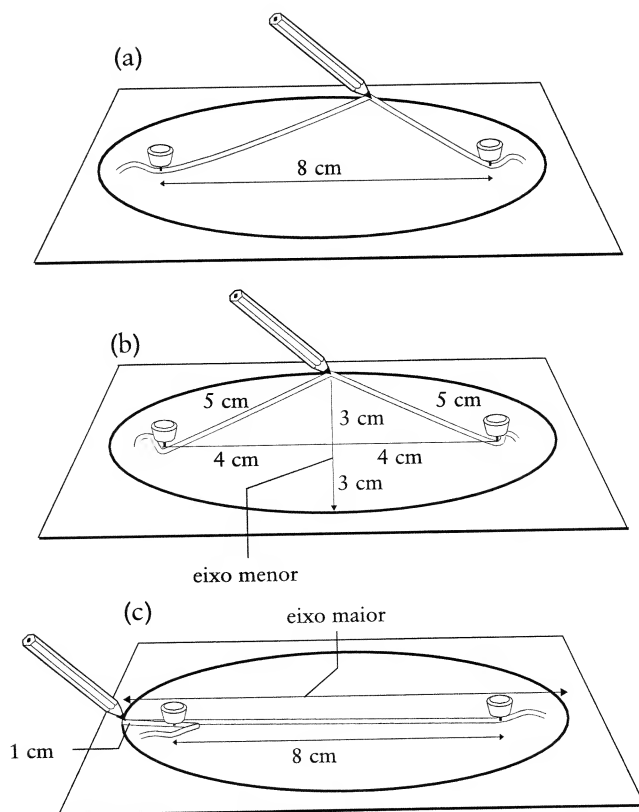


Figura 13 Uma maneira simples de desenhar uma elipse é usar um pedaço de barbante preso a dois pinos, como mostrado no diagrama (a). Se os pinos estiverem separados por 8 cm e o barbante tiver 10 cm de comprimento, cada ponto da elipse terá uma distância somada de 10 cm em relação aos dois pinos. Por exemplo, no diagrama (b), o barbante de 10 cm forma dois lados de um triângulo, ambos com 5 cm de comprimento. De acordo com o teorema de Pitágoras, a distância do centro da elipse até o topo deve ser de 3 cm. Isso significa que a altura total (ou *eixo menor*) da elipse é de 6 cm. No diagrama (c), o barbante de 10 cm é puxado para um lado, o que indica que a largura total (ou *eixo maior*) da elipse é 10 cm, porque são 8 cm de pino a pino mais 1 cm em ambas as extremidades.

A elipse é bem achatada porque o eixo menor mede 6 cm comparado com o eixo maior de 10 cm. Se os dois pinos se aproximarem, os eixos maior e menor da elipse tornam-se mais parecidos e a elipse fica menos achatada. Se os pinos se encontrarem num único ponto, então o barbante formará um raio constante de 5 cm e a forma resultante será um círculo.

Kepler mostrou que, elíptica em torno do Sol, uma linha imaginária, ligando o planeta ao Sol, varre áreas iguais em tempos iguais. Essa declaração é importante, porque define a velocidade ao longo de sua órbita, com velocidades planetárias constantes.

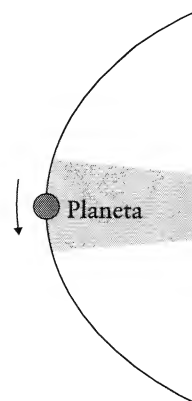


Figura 14 O diagrama mostra uma elipse que vale, aproximadamente, para as órbitas planetárias do Sistema Solar e é semelhante, o foco ocupado pelo Sol. A segunda lei do movimento planetário afirma que a linha unindo o planeta ao Sol (o raio vetor) varre áreas iguais em tempos iguais. Os três setores sombreados têm a mesma área, mas o raio vetor é curto, mas compõe mais da circunferência da elipse. Quando o planeta está mais longe do Sol, o raio vetor é muito mais longo e a seção menor da circunferência.

Kepler mostrou que, à medida que um planeta segue a sua trajetória elíptica em torno do Sol, acelerando e desacelerando ao longo do caminho, uma linha imaginária, ligando o planeta ao Sol, vai varrer áreas iguais em tempos iguais. Essa declaração um tanto abstrata é ilustrada na figura 14 e é importante, porque define precisamente como a velocidade do planeta muda ao longo de sua órbita, contrariando a crença de Copérnico em velocidades planetárias constantes.

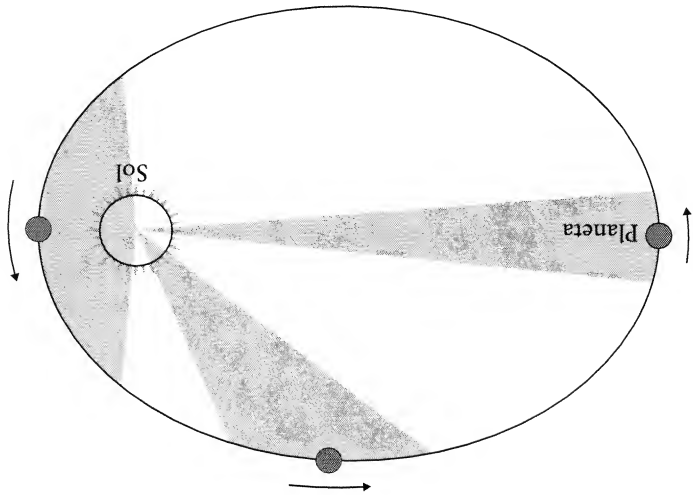
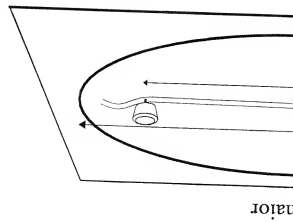
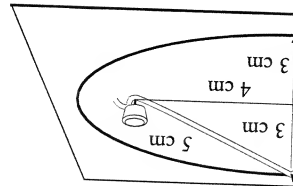
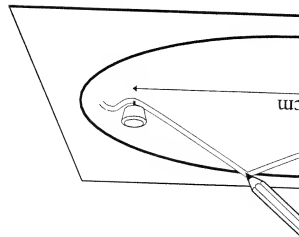


Figura 14 O diagrama mostra uma órbita planetária bastante exagerada. A altura da elipse vale, aproximadamente, 75% de sua largura, enquanto que na maioria das órbitas planetárias do Sistema Solar esta proporção fica, em geral, entre 99% e 100%. De modo semelhante, o foco ocupado pelo Sol fica bem fora do centro, enquanto ele é apenas levemente descentralizado para as órbitas planetárias reais. O diagrama demonstra a segunda lei do movimento planetário de Kepler. Ele explicou que uma linha imaginária unindo o planeta ao Sol (o raio vetor) varre áreas iguais em tempos iguais, o que é uma consequência do aumento da velocidade do planeta à medida que se aproxima do Sol. Os três setores sombreados têm áreas iguais. Quando o planeta está mais perto do Sol, o raio vetor é curto, mas compensado por uma velocidade maior, o que significa que cobre mais da circunferência da elipse em tempo fixo. Quando o planeta está mais distante do Sol, o raio vetor é muito mais comprido, mas tem uma velocidade menor, e assim cobre uma seção menor da circunferência no mesmo tempo.



uma elipse é usar um pedaço de barbante para um lado, o que indica que a largura é de 6 cm. No ângulo, ambos com 5 cm de comprimento. is pinos. Por exemplo, no diagrama (b), o comprimento, cada ponto da elipse terá uma

enorme de 6 cm comparado com o eixo maior, os eixos maior e menor da elipse são achados. Se os pinos se encontrarem um raio constante de 5 cm e a forma

A geometria da elipse vinha sendo estudada desde o tempo dos antigos gregos, então por que ninguém antes sugeriu elipses como a forma das órbitas planetárias? Um motivo, como já vimos, foi a crença persistente na perfeição sagrada dos círculos, que parecia cegar os astrônomos para todas as outras possibilidades. Mas outro motivo é que a maioria das elipses planetárias são apenas levemente elípticas, de modo que parecem circulares, a menos que se faça um exame minucioso. Por exemplo, o comprimento do eixo menor dividido pelo comprimento do eixo maior (ver figura 13) é uma boa indicação de como uma elipse está próxima de um círculo. A proporção é igual a 1,0 para um círculo, e, no caso da Terra, essa proporção é de 0,99986. Marte, o planeta que fez Rético ter pesadelos, é problemático porque sua órbita é mais achatada, mas a proporção entre os dois eixos ainda é muito próxima de 1, valendo 0,99566. Em resumo, a órbita marciana era apenas levemente elíptica, de modo a levar os astrônomos a acreditarem que era circular, mas era elíptica o suficiente para criar problemas reais a qualquer um que tentasse moldá-la em termos de círculos.

As elipses de Kepler forneceram uma visão completa e precisa do nosso Sistema Solar. Suas conclusões foram um triunfo para a ciência e para o método científico, o resultado da combinação de observação, teoria e matemática. Ele publicou sua conquista, pela primeira vez, em 1609, num enorme tratado intitulado *Astronomia nova*, que detalhava oito anos de trabalho meticuloso, incluindo numerosas linhas de investigação que levariam apenas a becos sem saída. Kepler pedia ao leitor para sentir-se em seu lugar: “se ficares entediado com este cansativo método de cálculo, tenha pena de mim que tive que repeti-lo pelo menos setenta vezes, perdendo muito tempo”.

O modelo de Kepler para o Sistema Solar era simples, elegante e indubitavelmente preciso em termos de prever as trajetórias dos planetas, e no entanto poucos acreditaram que representasse a realidade. A grande maioria dos filósofos, astrônomos e líderes da Igreja aceitou que aquele era um bom modelo para fazer cálculos, mas continuou firme na crença de que a Terra era o centro do Universo. Sua preferência pelo modelo centrado na Terra era baseada, em grande parte, no fracasso de Kepler em abordar algumas das questões da tabela 2 (pp. 41-42), tais como a gravidade. Como pode

a Terra e os outros planetas quando tudo o que vemos é

Também a confiança de círculos, era considerada risível. Disse o seguinte em uma carta sobre a circularidade e a uniformidade: “mais absurdo quanto mais p[ro]va-se ao menos preservar a órbita com outro pequeno epiciclo para ser construída de círculos e e

Desapontado com a possibilidade de partiu para aplicar suas habilidades curioso em relação ao mundo da ciência quando escuto os pássaros cantam, para cantar. E do mesmo modo mente humana se dá ao trabalho de fenômenos da natureza tão ricos precisamente para o estudo”.

Além da pesquisa nas ópticas trabalhos de diversas naturezas que os planetas ressoavam com a velocidade de cada planeta (mi, fá, sol, lá, si). A Terra em latim *fames*, significando “fome” a natureza do nosso planeta. Um trabalho *Somnium*, um dos precursoros até a Lua de um grupo de aviação *novia nova*, Kepler escreveu “Sobre o floco de neve de seis” dos flocos de neve e apresenta

“Sobre o floco de neve de Johannes Matthaeus Wackhe

a Terra e os outros planetas serem mantidos em órbita em torno do Sol quando tudo o que vemos ao nosso redor é atraído para a Terra?

Também a confiança de Kepler em elipses, contrária à doutrina dos círculos, era considerada risível. O clérigo e astrônomo holandês David Fabricius disse o seguinte em uma carta para Kepler: "Com tuas elipses, aboliste a circularidade e a uniformidade dos movimentos, o que me parece cada vez mais absurdo quanto mais profundamente eu penso a respeito... se pudessem ao menos preservar a órbita circular perfeita e justificar tua órbita elíptica com outro pequeno epíclo, seria muito melhor". Mas uma elipse não pode ser construída de círculos e epíclo, assim, uma conciliação era impossível. Desapontado com a pobre recepção dada a *Astronomia nova*, Kepler partiu para aplicar suas habilidades em outra coisa. Ele era eternamente curioso em relação ao mundo ao seu redor, e justificou sua contínua exploração científica quando escreveu: "Nós não perguntamos para que propósito os pássaros cantam, pois a canção é o seu prazer, já que foram criados para cantar. E do mesmo modo nós não devemos nos perguntar porque a mente humana se dá ao trabalho de sondar os segredos do céu... A diversidade de fenômenos da natureza é tão grande e os tesouros ocultos nos céus tão ricos precisamente para que a mente humana nunca careça de seu alimento".

Além da pesquisa nas órbitas planetárias elípticas, Kepler se dedicou a trabalhos de diversas naturezas. Erradamente ele reviveu a teoria pitagórica de que os planetas ressoavam com "a música das esferas". De acordo com Kepler, a velocidade de cada planeta gerava notas particulares (por exemplo, dó, ré, mi, fá, sol, lá, si). A Terra emitia as notas fá e mi, que produziam a palavra latina *fames*, significando "fome", aparentemente indicando a verdadeira natureza do nosso planeta. Um uso melhor para o seu tempo foi a autoria de *Somnium*, um dos precusores do gênero ficção científica, contando a viagem até a Lua de um grupo de aventureiros. E um par de anos depois da *Astronomia nova*, Kepler escreveu um de seus trabalhos científicos mais originais, "Sobre o floco de neve de seis vértices", no qual ele meditava sobre a simetria dos flocos de neve e apresentava uma visão atomística da matéria.

"Sobre o floco de neve de seis vértices" foi dedicado ao patrono de Kepler, Johannes Mathaeus Wackher von Wackenfels, que também deu a Kepler a

to estudada desde o tempo dos antigos. sugeriu elipses como a forma das órbitas, foi a crença persistente na perspectiva cegar os astrônomos para todas as elipses planetárias, a maneira modo que pareciam circulares, a exemplo, o comprimento do eixo maior (ver figura 13) é uma boa aproximação de um círculo. A proporção da Terra, essa proporção é de 0,99986. pesadelos, é problemático porque sua relação entre os dois eixos ainda é muito resumo, a órbita marciana era apenas os astrônomos a acreditarem que era para criar problemas reais a qualquer de círculos.

uma visão completa e precisa do nosso n um triunfo para a ciência e para o nbinação de observação, teoria e matemática, pela primeira vez, em 1609, num *ia nova*, que detalhava oito anos de rosas linhas de investigação que levava a pedir ao leitor para sentir-se em seu cansativo método de cálculo, tenha pelo menos setenta vezes, perdendo

tema Solar era simples, elegante e a prever as trajetórias dos planetas, e representasse a realidade. A grande deres da Igreja aceitou que aquele era nas continuou firme na crença de que preferência pelo modelo centrado na fracasso de Kepler em abordar algu- 2), tais como a gravidade. Como pode